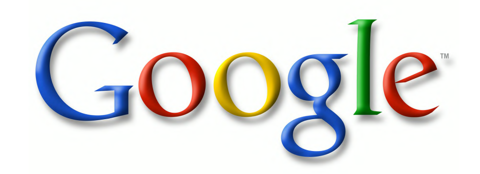
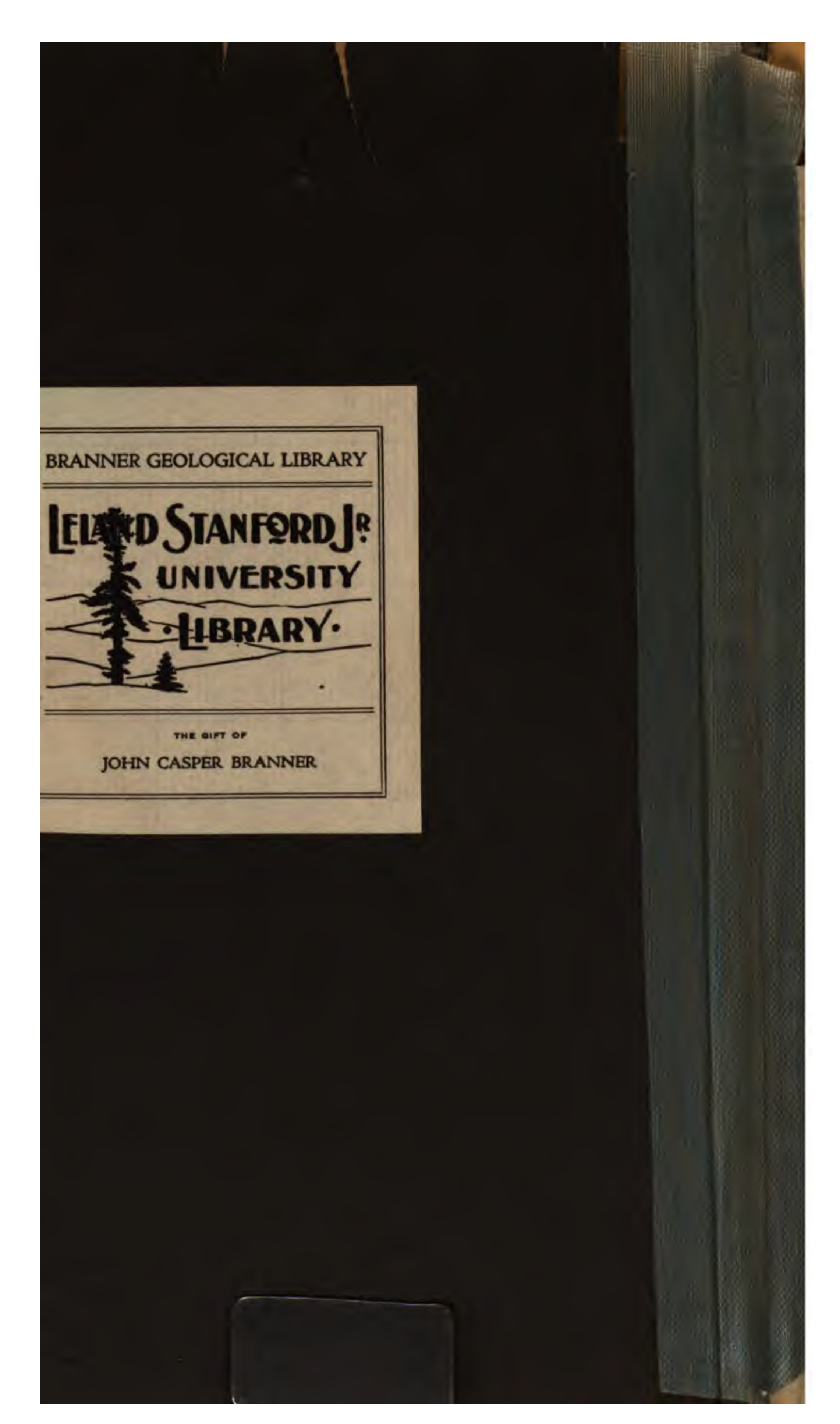


Montessus de Ballore, Fernand.

Pamphlets on the distribution and frequency of earthquakes.

551.22 M781a


BRANNER GEOLOGICAL LIBRARY
LELAND STANFORD JR. UNIVERSITY
·LIBRARY·
THE GIFT OF
JOHN CASPER BRANNER

Loi générale

de

la répartition des régions sismiques

instables à la surface du globe.

Par

le Comte de **Montessus de Ballore**

Sonderabdruck aus dem Bericht der II. Intern. seismologischen Konferenz

Leipzig
Wilhelm Engelmann
1904



Annexe C 1.

Loi générale de la répartition des régions sismiques instables à la surface du globe.

Par

le Comte de **Montessus de Ballore**.

Il est fort douteux qu'il existe à la surface du globe des régions où les tremblements de terre, si rares soient-ils, restent cependant complètement inconnus. On peut donc admettre, au moins provisoirement, que la terre tremble partout, peu ou prou.

Si 156 781 macroséismes enregistrés jusqu'à nos jours, ou qui du moins nous sont connus, nous ont permis de faire la description sismique du globe, comme prélude à une description sismogéologique, en le divisant en un certain nombre de régions sismiques diversement instables, ce travail ne doit cependent être considéré que comme une première ébauche. Les progrès futurs de la sismologie ne pourront vraisemblablement pas en modifier les traits généraux, mais il s'en faut encore de beaucoup que dans le détail on ait une connaissance suffisante des centres d'instabilité, de leur extension, de l'intensité et de la fréquence moyennes des séismes qui s'y produisent. En tout cas on est bien loin d'être renseigné à un égal degré pour toutes les parties de l'écorce terrestre, et c'est à quoi il faut tendre par tous les moyens possibles.

Un des plus importants desideratums de la sismologie moderne est donc de déterminer d'abord tous les centres d'ébranlement, qu'ils soient temporaires ou permanents quant aux manifestations sismiques qui les agitent, et il sera nécessaire d'y consacrer de longues années d'observations, car on sait bien que certains centres ne sont actifs que par à-coups et à de longs intervalles pour retomber ensuite dans un profond repos. L'observation instrumentale des microséismes locaux permettra toutefois d'abréger le laps de temps suffisant à cette étude.

Tout épicentre ou foyer d'ébranlement, lignes ou surfaces plus ou moins étendues, ou même simples points, trouve sa raison d'être dans quelque phénomène géologique local, encore que l'on ne puisse pas toujours le découvrir facilement. Et les séismes attestent sous cette forme atténuée la survivance des actions géologiques correspondantes. De même les groupes d'épicentres sont aussi la conséquence d'accidents géologiques de plus grande importance et d'ordre plus général pour le pays considéré. Autrement dit les épicentres ne se disséminent point au hasard à la surface d'une région sismique déterminée, mais se répartissent conformément aux principaux traits géologiques, d'ordinaire les moins anciens auxquels la région doit son relief actuel. Et c'est précisément cet arrangement qui conduit à mettre les séismes en relation avec le processus géologique correspondant. Ou mieux encore, failles, plissements ou autres phénomènes du même ordre, et séismes ont une cause commune dans les efforts tangentiels ou radiaux dont l'écorce terrestre a été et continue à être le siège sous l'influence prépondérante du refroidissement séculaire, les séismes en présentant la phase ultime avant l'extinction totale à laquelle sont déjà parvenues les régions sismiquement stables.

Nous voudrions maintenant nous élever plus haut et voir si les régions sismiques instables elles-mêmes ne montreraient pas quelque loi dans leur répartition générale, et dans le cas où nous y réussirions, on conçevra sans peine combien une telle loi serait de nature à jeter un jour brillant sur la marche générale de la formation des continents et des océans, en un mot sur les grands phénomènes dont le développement progressif a donné à la terre sa figure actuelle. Qui sait même si l'on n'en pourrait pas tirer des échappées de vue sur l'avenir destiné à notre demeure d'ici-bas.

Mais abandonnant bien vite des visées peut-être trop audacieuses, nous allons montrer que les régions sismiques instables, loin de se distribuer au hasard, obéissent en effet à une loi très simple, partant naturelle et qui ne pourra pas être sensiblement modifiée plus tard, car c'est seulement dans le détail que des progrès, très grands même, sont à faire en sismogéographie par le développement des observations sismologiques. Par exemple, malgré le peu d'années depuis lesquelles l'Afrique est explorée scientifiquement, on sait fort bien que ce continent, sauf dans les pays Barbaresques, est remarquablement stable, et que tout découverte de régions de sismicité notable, du moins de quelqu'étendue, y est ni probable, ni même possible. L'histoire géologique de cette partie du monde nous en est le plus sûr garant.

55\.22

Considérons maintenant les deux points, dont les coordonnées géographiques sont respectivement 35° 40'. N. — 23° 10'. E. et 40° 45'. N. — 150° 30'. W., comme les pôles de deux grand cercles, on constatera d'après les tableaux et le graphique ci-joints, que deux zônes d'une quinzaine de degrés de part et d'autre de ces deux cercles renferment la presque totalité des régions sismiques instables et les 95°/o de nos 156781 macroséismes.

Le premier cercle fait le tour du Pacifique et peut être nommé Ando-japonais-malais, ou du Pacifique. Il coïncide très sensiblement avec la ligne sinueuse de l'énorme relief de la Cordillère des Andes entre le cap Horn et le détroit de Behring, qu'il coupe deux fois, au nord de Guayaquil et à l'ouest de l'île Quadra et Vancouver, puis il renferme les îles du Pacifique occidental des Kouriles à la Malaisie. 64406 séismes en dépendent.

Le second cercle épouse la dépression méditerranéenne supposée idéalement prolongée jusqu'à la plaine Indo-Gangétique et à la fosse des Antilles. Dominé au nord par le gigantesque bourrelet montagneux qui par les Alpes, les Balkans, l' Arménie, le Caucase, l'Indoo-Kooch, l'Himalaya, le Thibet et les Alpes Australiennes s'étend presque sans interruption des Pyrénées à la Nouvelle Zélande, on peut le dénommer Alpino-Caucasien-Himalayen-Néozélandais, ou Méditerranéen — 83946 séismes s'y rattachent.

Comme le montre le graphique, les régions sismiques ne se distribuent pas de la même manière le long des deux zônes. Sur le cerle pacifique elles s'égrennent en un chapelet à peu près continu le long d'un immense arc de 225 degrés, ou de 25000 Kilomètres, du golfe d'Aucud (Chili) à la Malaisie. C'est un anneau largement ouvert. Sur le cercle méditerranéen, si l'on néglige d'une part les Açores, d'autre part la Nouvelle Zélande et l'Australie, soit seulement 3490 séismes sur 83946 — moins du vingtième — on voit que les régions particulières se massent de plus en plus de l'est à l'ouest le long d'un ovale effilé vers l'est, et dont le grand axe embrasse un arc de plus de moitié plus court que celui de la zône pacifique, 100 degrés seulement ou 11000 Kilomètres.

Il est évident que dans des considérations de cette nature la position géographique des pôles ne peut être qu'approximative et que les coordonnées mentionnées plus haut ne sont que pour fixer les idées. Elles pourraient varier quelque peu sans que nos conclusions générales soient modifiées en quoi que ce soit, et la distribution sui-

vant nos deux zônes n'en resterait pas moins exacte et conforme à l'observation.

Les deux grands cercles se coupent au large et au sud de l'île Poeloe-Nias (Sumatra) et entre les Gallapagos et l'isthme du Darien. Leur angle est de 67°5′, de sorte qu' à 22°55′ près on pourrait les considérer comme un équateur et un premier méridien sismiques.

En résumé les séismes se répartissent ainsi qu'il suit:

Cercle méditerranéen	= 83946	= 53,54 %
Cercle pacifique	= 64406	= 41,08 %
Divers	= 8429	= 5,38 %
	156781	100,00

Les séismes qui échappent aux deux grands cercles ne représentent que 5,38 % du total et ne correspondent qu'à un très petit nombre, 7 seulement, de régions instables: Baïkalie, Kachgarie, bassin du Weï-Ho, Appalaches, Madagascar, Sandwich et Mariannes. Il n'y a donc pas à craindre que les progrès des études sismologiques en fassent découvrir d'autres, actuellement inconnues, pas même soupçonnées, en tout cas ce ne pourrait être qu'en nombre infime.

On projette une sismogéographie générale s'étendant à toute la surface du globe, au moyen des efforts combinés de plusieurs sismologues, et c'est une des questions prévues au programme de la 2° conférence internationale sismologique de Strasbourg. L'ensemble des monographies sismiques, que, réduits à nos propres forces, nous avons pu établir, ne constituent qu'un premier essai incomplet et imparfait, dont ne subsisteront peut-être que les traits principaux. Mais en tout cas le travail à établir devra forcément et logiquement se faire suivant le cadre des deux cercles méditerranéen et pacifique.

On ne saurait trop insister sur ce fait que les 94,62 %, ou la presque totalité des séismes utilisés appartiennent aux deux zônes et que leur faible inégalité de proportion — seulement 12,46 % en faveur de la zône méditerranéenne — ne tient probablement qu' à la plus grande ancienneté des observations dont on y dispose. Ce résultat remplit donc les caractères de simplicité énoncés plus haut comme inhérents à l'expression d'une loi naturelle, dont il faudra désormais tenir compte en géologie théorique et en géomorphogénie générale.

Cette loi, déduite exclusivement de l'observation, peut se mettre sous la forme suivante:

«L'écorce terrestre tremble à peu près également et presque uniquement le long de deux étroites zônes, qui

se développent suivant deux grands cercles presque perpendiculaires entre eux — angle de 67°5′ — le cercle méditerranéen ou Alpino-Caucasien-Himalayen-Néozélandais, et le cercle pacifique ou Ando-japonais-malais; et ces deux zônes coïncident avec les deux plus importantes lignes de relief de la surface terrestre», en entendant cette expression de la différence de niveau entre le fond des océans et les sommets des crêtes montagneuses.

Nous ignorons totalement l'avenir destiné à la surface terrestre. Sera-t-elle encore soumise à des modifications de même ordre que celles qu'elle a subies depuis l'aurore des temps géologiques, ou bien est-elle arrivée à un stade de repos final, au moins relatif, coïncidant avec l'apparition de l'homme, couronnement de la création? Il est impossible de répondre scientifiquement à une telle question, mais il est parfaitement plausible de penser que dans le premier cas la distribution des régions sismiques instables fait prévoir que les grandes vicissitudes géologiques futures auront surtout pour théâtre les deux zônes méditerranéenne et pacifique, et que dans le second cas les tremblements de terre qui les agitent représentent l'effort ultime et tténué des causes géologiques en voie d'extinction, qui ont amené e relief terrestre à son état actuel après les grandioses événements les époques antérieures, puisque nos deux grands cercles sont en apports évidents avec les chaînes les plus récentes et les derniers ffondrements. Il serait imprudent de choisir entre les deux hypohèses, mais il semble bien qu'il doive forcément y en avoir une l'exacte.

Disons tout de suite et pour terminer que ces considérations ontrent combien la sismologie a le droit de vouloir devenir une cience autonome, ne serait-ce que par la hauteur des spéculations uxquelles elle permet à l'esprit de s'élever au moyen des seules ssources qu'elle met à notre disposition.

Abbeville, le 25 juin 1903.

Comte de Montessus de Ballore.

Note. L'échelle des nombres de séismes n'a pu être, pour de simples isons relatives au dessin du graphique, établie suivant une gradation propornnelle. Il a fallu suivre une loi exponentielle de convention.

Tableau A.

Cercle Alpino-Caucasien-Hymalayen-

Nord

Deuxième quadrant occidental	Açores	146°,5	144°—149°	1465
	Galice et nord du Portugal	128,5	126—131	67
	Nord de la France	120,25	119,5—121	1490
	Suisse	118	117—119	3848
	Italie continentale	117,25	114,5—120	8787
	Europe centrale et Alpes orientales	116	112—120	5686
	Hongrie	108,5	105—112	1439
	Caucase	93,5	89—98	1180
				23962
Premier quadrant occidental	Caspienne orientale	89°	87°—91°	11
	Syr-Daria	76	72—80	375
	Issyk-Koul	**74**	**72—76**	**328**
	Afghanistan	**73,5**	**72—75**	**251**
	Flanc méridional de l'Himalaya	**62**	**52—72**	**262**
	Assam	**50**	**48—52**	**5242**
	Birmanie	**44**	**40—48**	**66**
	Thibet	**42**	**38—46**	**5**
	Yun-nan	**35**	**32—38**	**129**
				6669
Premier quadrant oriental	**Nouvelle-Zélande (Ile du nord et détroit de Cook**	**38°,5**	**35°—42°**	1665
				1665
Deuxième quadrant oriental				
				32296

Tableau A.

ozélandais ou Méditerranéen.

d

Deuxième quadrant occidental.	Iles du Cap Vert	145°,5	144°—147°	12
	Canaries et Madère	144,5	143—146	77
	Etats Barbaresques	124,75	118—131,5	932
	Espagne et Portugal (moins la Galice et le nord du Portugal)	122,5	119—126	2616
	Sud de la France (Alpes maritimes, Provence, Pyrénées)	120,25	119,5—121	1353
	Baléares, Corse et Sardaigne	119,25	115,25—124,25	53
	Sicile	116	115—117	4349
	Italie péninsulaire	115	112—118	19959
	Grèce	110	108—112	12214
	Péninsule Balkanique	108	103—113	4115
	Syrie	99	98—100	200
	Asie Mineure et Arménie	98,5	91—106	4573
				50453
Premier quadrant occidental	Perse	82°	74°—90°	243
	Béloutchistan	71	69—73	126
	Oude et Lahore-Pendjab	60	54—66	205
	Indoustan et Ceylan	59,75	49,5—70	111
	Andamon et Nicobar	42	40—44	127
				812
quadrant oriental	Australie	24°	7°—41°	89
	Tasmanie	35	33,5—36,5	11
	Reste de la Nouvelle-Zélande	40	38,5—41,5	260
				360
quadrant oriental	Les Guyanes	176°	175°—177°	25
				51650
			Total pour tout le cercle	83946

Tableau C.

Régions sismiques diverses.

(n'appartenant pas aux deux grands cercles.)

Terres arctiques	149
Scandinavie	732
Iles Britanniques	1231
Russie	310
Sibérie	803
Arabie	19
Indo-Chine	7
Reste de la Chine	1857
Afrique proprement dite	185
Reste de l'Atlantique	172
Océan Indien	84
Canada	112
Versant atlantique des Etats-Unis	937
Versant atlantique de l'Amérique du sud	356
Océanie proprement dite ou Polynésie	1475
	8429

551.22

Beiträg

Taf. I.

180 170 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180

la Méditerranée -

Pôle - 40° 45' N. 150° 30' W. Gr.

de Cook -)

Zélande -

Les Guyanes

83946 séismes - 53 p %

ou du Pacifique -

Pôle - 35° 40' N. 23° 10' E. Gr.

Presqu'île de Malacca -

Nord de Sumatra -

Sud de Sumatra -

Java -

Moluques -

64406 séismes - 41 p %

180 170 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180

32001 -

26901

32001

Restent 6 p % en dehors

F. de Mon

Lith. Anst. Julius Klinkhardt. Leipzig.

Non-existence et inutilité

des

courbes isosphygmiques,

ou

d'égale fréquence des tremblements de terre

par

F. de Montessus de Ballore.

(Sonderabdruck aus Gerland's Beiträgen zur Geophysik Bd. V, Heft 3.)

Leipzig
Wilhelm Engelmann
1902.





On va démontrer ici qu'il n'en est rien et qu'à un phénomène essentiellement discontinu comme les séismes il faut un mode discontinu aussi de représentation graphique, par exemple des points dont les diamètres sont calculés d'après la fréquence sismique observée et suivant une échelle conventionnelle convenablement choisie, procédé que j'emploie depuis longtemps dans la description sismique de diverses parties du globe.

En raison de la longueur des raisonnements qui conduisent à la démonstration de ce fait important et de la multiplicité des considérations sur lesquelles ils sont étayés, il convient de donner pour commencer le résumé suivant de la marche suivie. On saisira ainsi d'un seul coup d'œil la série des déductions successives.

Résumé sommaire.

On commence par exposer succinctement les différents modes employés jusqu'ici pour représenter l'instabilité à la surface d'un pays par teintes, courbes or hachures.

Ces procédés présentent un caractère commun, la continuité, mais ne doivent pas être réunis dans la même réprobation avec les modes discontinus employés par Baratta, teintes plates, et par moi-même dans les cartes sismiques d'ensemble, car dans ce cas, tout en faisant une hypothèse fausse, à savoir l'uniformité de la répartition de l'instabilité à la surface d'une région, l'on peut cependant en réduire l'inconvénient au minimum en ne prenant que des régions de très faibles surfaces.

Ces modes continus supposent tous la détermination des courbes isosphygmiques, ou lieux des points d'égale fréquence sismique.

On rapelle ensuite un fait de pure observation, à savoir que les aires ébranlées par un nombre suffisant de séismes et les nombres correspondants de séismes sont liés par une relation représentable par une courbe asymptotique aux deux axes et qu'on peut approximativement identifier avec une hyperbole équilatère. Ce fait d'abord établi pour les nombreux épicentres du Japon, a été étendu, par la statistique bien entendu, au cas d'un seul épicentre: Zante.

Mais la construction des isosphygmiques, en partant des nombres de fois que des séismes sont émanés des épicentres, suppose un fait faux, à savoir que tous les points de la région ont été épicentres. En outre le procédé géométrique en lui-même est sujet à un certain



arbitraire qui ne se rencontre pas dans la détermination des horizontales d'une surface topographique ordinaire.

Pour restituer la continuité aux éléments du probléme on améliore la définition des isosphygmiques en prenant pour cote des divers points de la région le nombre de fois qu'ils ont été ébranlés au lieu d'attribuer seulcment aux épicentres les nombres de fois qu'ils ont été actifs.

De cette nouvelle définition un calcul analytique permet de déduire au moyen de l'hyperbole équilatère précitée le nombre de fois qu'un point quelconque a été ébranlé en partant seulement du nombre de fois que les épicentres ont joué. Mais ce calcul ne donne pas le même résultat que le calcul géométrique.

Cette contradiction condamnant les isosphygmiques provient de ce que si l'on suppute le nombre de séismes ressentis en chaque point de la région par la determination directe des périmètres de l'action des séismes observés qui l'ont ébranlée, on voit de suite que la région est divisée par ces périmètres en plages d'égale fréquence, ne domant point naissance à des courbes d'égale fréquence.

En réalité le phénomène sismique naturel ne présente pas dans l'espace une discontinuité aussi absolue qu'on l'a supposé. De sorte qu'à la très grande rigueur et en raison du resserrement du réseau des épicentres, il existe bien des isosphygmiques, mais extrêmement compliquées et n'apprenant rien de plus que les points représentatifs (Voir mes cartes sismiques) sur les relations des épicentres avec les accidents géologiques et dont la recherche constitue précisément l'interêt du probléme de la répartition de l'instabilité. Il est donc bien inutile de se donner la peine, très grande d'ailleurs, de les construire.

Le procédé illusoire, autant que pénible, des courbes isosphygmique, est mis en parallèle avec celui des points représentatifs pour les Khasi-Hills pendant la période du 12 juin 1897 à la fin de 1898.

On conclut enfin au rejet absolu des courbes isosphygmiques.

I. Emploi fait de teintes dégradées, courbes et hachures pour représenter la répartition de l'instabilité à la surface d'une région sismique.

Les procédés le représentation continue, dont il s'agit ici, sont variés suivant les sismologues qui les ont employés. En dernière analyse ils se réduisent à deux: teintes dégradées et courbes d'égale

fréquence sismique, ces dernières avec ou sans hachures interm diaires, et même au fond à un seul, car les teintes sont suppose dégradées régulièrement suivant de telles courbes.

Mallet dans sa fameuse «Seismological map of the world» employé des teintes dégradées pour figurer à la surface du globe l régions à un plus ou moins haut degré instables. Il a fait cet évaluation par simple estime, les documents sismiques ne permettaie pas d'ailleurs de faire mieux à cette époque (1898), et il y a mê les phénomènes volcaniques. Ce travail jouit encore et à juste tit d'une grande autorité. Il faut du reste observer que pour une mapp monde sismique, dont l'échelle est forcément très réduite, on ne pe guère faire usage que de teintes dégradées. Dans ce cas il s'ag seulement de montrer des ensembles, de donner des indications trè générales, et si le procédé est en soi entaché de graves erreurs, comm on le montrera plus loin, l'inconvénient ici disparaît en partie. Cett dernière observation n'était pas inutile ou moment où des sismologue éminents projettent l'établissement d'une carte sismique du globe e profitant de l'accumulation de faits recueuillis depuis un certain nombr d'années.

Les teintes dégradées ont été ensuite employées par Seikei Seikiy pour le Japon (1889), par Milne pour le nord de ce pays (1881—1883 et pour ce même pays tout entier dans les années successives de 188 à 1890.

Milne encore s'est servi de courbes et de hachures pour le Japo (1887 - 1890), Saderra y Masó pour les Philippines (1891, 1892, 1893 février et mars 1894, et moyenne), comme aussi Coronas pour le mêm archipel en 1897.

Omori et Davison ont tracé des courbes d'égale fréquence men suelle et moyenne pour les chocs consécutifs au grand tremblemen de terre de l'Owari, 1892—1893.

Il faut observer que les teintes plates employées par Baratta dans son étude sur la répartition annuelle et moyenne de l'instabilité en Italie pendant la périole 1887--1892 ne sont pas sujettes à cette critique des procédés continus mentionnés plus haut, car elles sont discontinues et tout-à-fait comparables aux hachures que j'emploie dans mes cartes sismiques d'ensemble. Les hachures accompagnant les courbes d'égale fréquence, d'une part, les teintes plates de Baratta comme les hachures de mes cartes générales, d'autre part, constituent deux modes absolument différents de représentation de la sismicité. le premier entaché d'une continuité qui n'existe pas, le second dis-

continu, mais subissant lui aussi les conséquences d'une autre hypothèse fausse, moins grave il est vrai, à savoir l'uniformité de la répartition de l'instabilité à la surface de chacune des regions élémentaires de sismicités différentes en lesquelles on a subdivisé le pays considéré. Seulement l'inconvénient de cette inexactitude peut disparaître à peu près complètement si l'on rend assez petites ces régions élémentaires.

On pourrait probablement citer d'autres exemples de procédés continus par teintes, courbes ou hachures; il est bien inutile d'en poursuivre plus loin la nomenclature.

II. Définition des courbes isosphygmiques, ou courbes d'égale fréquence de séismes.

Mais les procédés mentionnés plus haut supposent tous, au moins tacitement, la détermination à la surface du pays considéré des courbes lieux des points d'égale fréquence sismique. On pourrait les appeler «isosphygmiques» (de *Σφυγμός*, petite seccusse de tremblement de terre), en réservant le nom d'isoséistes dès longtemps en usage, aux courbes lieux des points ébranlés avec une même intensité lors d'un grand séisme.

Pour démontrer la non-existence des courbes isosphygmiques et par suite pour faire considérer comme illusoires et même faux les procédsé de représentation sismique dont il s'agit ici, teintes ou courbes, il faut tout d'abord montrer comment les isosphygmiques peuvent et doivent être déterminées au moyen du nombre de séismes relatés par l'observation comme émanés des épicentres de la région. Dans tout ce qui va suivre on fera des hypothèses successives destinées uniquement à simplifier les calculs, qui, sans cela, seraient à peu prés inabordables, mais de façon toujours à ne pas toucher aux conditions essentielles du problème. Les raisonnements resteront ainsi constamment exacts en dépit d'approximations successives chaque fois soigneusement justifiées.

III. Les nombres de séismes émanés d'un épicentre et leurs aires d'action obéissent à une relation représentable par une hyperbole équilatère.

Soit un point A épicentre de tremblements de terre fréquents. Supposons le terrain homogène tout autour. C'est là une hypothêse qui, si elle n'est pas souvent réalisée dans la pratique, du moins

simplifiera beaucoup les calculs, sans fausser en rien les raisonnements. Alors les séismes émanés de A ébranlent à la surface terrestre des aires circulaires, et j'ai montré ailleurs (Relations entre la fréquence des tremblements de terre et leur intensité. Boll. Soc. Sism. ital. III. 1897. pp. 9 et suiv.) que si ces séismes sont en assez grand nombre, leurs aires d'ébranlement, ou par suite les carrés des rayons des cercles précités, représentent leurs intensités relatives, quelleque soit du reste pour chacun d'eux la position peut-être variable de l'hypocentre ou centre vrai sur la verticale de l'épicentre. Je prouvais en outre dans le même travail qu'on pouvait aller plus loin, et ne tenir compte que du nombre des séismes pour calculer la sismicité, mais c'est là une considération subséquente qui n'a rien à faire ici.

De plus une statistique appliquée à 8831 séismes japonais (1889—1892) dont on connait l'aire d'action (Milne. The seismological journal of Japan, IV. 1895) a montré que les nombres de séismes ayant secoué une aire donnée et ces mêmes aires ont une relation telle qu'on puisse la représenter au moyen d'une courbe asymptotique aux deux axes de coordonnées. Des considérations théoriques à priori et tirées du calcul des probabilités, auraient conduit directement au même résultat, mais il vaut mieux ici s'en tenir à une conclusion de statistique, par suite de pure observation.

Ce fait s'applique, il est vrai, dans le cas du catalogue de Milne à des séismes émanés d'un grand nombre d'épicentres differents et disséminés sur toute la surface du Japon. Or il est facile do'btenir identiquement le même résultat pour des séismes émanés d'un épicentre unique. C'est ce que j'ai fait pour Zante avec 4290 séismes seulement (1825—1898), de façon à partir d'un fait expérimental certain, et non pas d'une conclusion tirée d'un cas différent. La courbe est un peu moins régulière en raison du moindre nombre de séismes utilisés, et présente le petites indentations qu'aurait fait disparaître un plus grand nombre d'observations.

Une courbe tout-à-fait semblable s'obtient si l'on prend pour abcisses les nombres d'épicentres à 1, 2, 3, ... 1*n* . . . . séismes et pour ordonnées ces mêmes nombres de séismes. J'ai obtenu ce résultat au moyen de plus le 12000 épicentres avec plus de 130 000 observations de tremblements de terre.

Retenons donc et considérons comme bien démontré par l'expérience qu'autour d'un épicentre suffisamment instable et pour lequel ou connait un assez grand nombre de séismes, la relation eutre les nombres de séismes qui en sont émanés et les carrés des cercles

ébranlés est représentable par une courbe asymptotique aux deux axes de coordonnées.

Pour simplifier les calculs on assimilera cette courbe à une hyperbole équilatère, dont l'équation est:

$$n R^2 = K$$

où l'abcisse n est le nombre de chocs émanés de l'épicentre, l'ordonnée R^2 est le carré du rayon du cercle ébranlé, et K une constante en quelque sorte caractéristique simultanée de la fréquence et de l'intensité moyennes des séismes ayant leur épicentre au point considéré. Ce n'est encore là qu'une hypothèse purement occasionnelle et n'ayant d'autre but que celui de simplifier les calculs subséquents, sans entacher en rien les raisonnements.

IV. Construction des isosphygmiques.

Ceci posé, comment construit-on les isosphygmiques?

On prend les nombres de fois que deux points A et A′ de la région à l'étude ont été épicentres de séismes, sans qu'il y en ait eu d'intermédiaires, et l'on calcule par proportion dans des triangles semblables les points de la droite AA′ à cote ronde de séismes. Et c'est par ces points à cote ronde que l'on fera passer les isosphygmiques de la région, courbes qui seront ainsi les horizontales d'une surface topographique dont les altitudes sont pour chaque épicentre les nombres de séismes qui en sont émanés. On établit donc entre eux une continuité qui n'existe pas réellement dans la nature, puisqu'il est bien prouvé que les épicentres voisins d'une région instable sont presque toujours séparés par des espaces intermédiaires vides de tout centre d'ébranlement. Or le procédé géométrique employé consiste précisément au fond à considérer tous les points de la droite AA′ comme pouvant être épicentres, hypothèse absolument contraire à l'observation.

On pourrait dès lors s'en tenir là et rejeter sans plus les courbes isosphygmiques comme résultant d'une inadmissible hypothèse de continuité. Il vaut mieux toutefois poursuivre la démonstration de l'irréalité de ces courbes; elles ont trop de partisans autorisés pour en rester à un seul argument.

V. Indétermination géométrique des isosphygmiques.

Tout d'abord il convient d'observer que le calcul de la cote d'un point quelconque de la droite AA′ au moyen des cotes des points A et A′,

c'est-à-dire des nombres de fois qu'ils ont été épicentres, est soumis à un certain arbitraire. En effet le procédé de calcul consiste à remplacer la surface topographique supposée par un système de facettes triangulaires ayant pour sommets dans l'espace les épicentres exhaussés de leurs cotes respectives. Mais par quatre de ces points voisins A, B, C, D, il y a deux systèmes possibles de facettes ABD et ACD ou ACB et BCD. Comme en général le quadrilatère est gauche, ses diagonales AD et BC ne se rencontrent point, de sorte que le choix de l'un ou de l'autre des deux systèmes de facettes influera sur la cote du point dela surface situé sur la verticale rencontrant les deux diagonales. On aura, il est vrai, la ressource de faire passer la surface par le milieu du segment vertical limité aux deux diagonales; mais en tout cas ce sera une cause d'arbitraire, et qui se répétera pour tous les quadrilatères formés par les épicentres adjacents.

C'est là une imperfection assez grave qui ne se présente point dans la détermination des horizontales d'une surface topographique ordinaire, par ce que dans ce cas on emploie des profils successifs et qu'en outre des cotes de leurs points on possède d'autres renseignements: tracés de thalwegs, directions de lignes de plus grande pente, lignes de changements de pente, etca, dont la connaissance permet le plus souvent de lever les petites indéterminations qui peuvent se présenter par hasard. On a d'ailleurs par surcroît la ressource ultime de retourner sur le terrain, moyen qui n'a pas d'analogue pour les tremblements de terre.

Mais cette cause d'erreur n'aurait pas été à elle seule suffisante pour faire rejeter les isosphygmiques, l'arbitraire de la cote à choisir sur la verticale recontrant les deux diagonales du quadrilatère étant en somme resseré entre des limites assez restreintes dans la plupart des cas du moins.

VI. Nouvelle définition rétablissant la continuité des isosphygmiques.

Pour rétablir la continuité et par suite pour faire la partie plus belle aux constructeurs d'isosphygmiques, au lieu de prendre pour cotes ou altitudes des épicentres les nombres de fois que des séismes en sont émanés, et ces épicentres sont isolés, ne l'oublions point, on prendra pour cotes, et cette fois de tous les points de la région, les nombres de fois que des séismes y ont été ressentis, émanés ou non de ces points suivant qu'ils ont été ou non eux-mêmes épicentres.

De cette façon il semble bien qu'il y aura une surface topographique réelle, et qu'elle donnera lieu à des horizontales ou isosphygmiques véritables, ce qui n'avait pas lieu précédemment en raison de l'isolement des épicentres. Toute hypothèse de continuité aura disparu, étant bien évident que tous les points de la région auront été plus ou moins souvent ébranlés. Nul doute que cette nouvelle manière de représenter les variations de l'instabilité à la surface de la région considérée ne soit très naturelle. Elle conduira à de nouvelles isosphygmiques tout aussi suggestives et demonstratives que celles de l'ancienne définition, qui ne faisait intervenir que le nombre de fois que les épicentres avaient été actifs. Et elle jouit par rapport à celle-ci du grand avantage de présenter un caractère de continuité donnant naissance par conséquent à des horizontales.

On démontrera cependant plus loin que même dans ce cas la surface topographique, en dépit des apparences, n'existe pas, ou plutôt que le calcul des cotes sphygmiques des divers points de la région, ou le tracé des isosphygmiques, conduit à une impossibilité géométrique.

VII. Calcul analytique des isosphygmiques.

Ayant ainsi levé par cette nouvelle définition des isosphygmiques la difficulté de la non-continuité, il faut maintenant calculer la cote sphygmique de tous les points de la région, c'est-à-dire le nombre de fois que des séismes y ont été ressentis en partant du nombre de fois observé que les épicentres ont joué.

Soient un épicentre A d'instabilité assez grande pour donner lieu à une hyperbole équilatère (vide supra):

$$n\,R^2 = K$$

et deux autres points L et L′ en ligne droite avec A et en distants respectivement de l et l'. Le nombre des séismes émanés de A et atteignant L, sans dépasser L′, sera:

$$\int_l^{l'} \frac{K\,dr}{r^2} = K\left(\frac{1}{l} - \frac{1}{l'}\right)$$

Cette intégrale est infinie pour l nul et l' fini, c'est-à-dire qu'elle donne, résultat inadmissible, et dans tous les cas, un nombre infini de séismes ayant ébranlé le segment AL′. Et aussi de même pour le nombre de tremblements de terre ayant dépassé L′. Faut-il donc en conclure immédiatement que l'hyperbole équilatére ou toute autre courbe analogue et asymptotique aux deux axes de coordonnées n et r^2,

n'est pas susceptible de représenter la relation entre les nombres d
séismes émanés d'un épicentre et les aires ébranlées, ou leurs intensit
ce qui infirmerait une statistique pourtant bien faite et n'emprunta
rien qu'à la simple observation? Loin de là! Pour lever cette diff
culté il suffit d'observer qu'autour d'un épicentre les rayons des cercl
ébranlés ne tendent pas vers zéro, mais bien seulement vers
minimum au dessous duquel les sens de l'homme ou les instrumen
enrégistreurs, quels qu'ils soient, ne perçoivent plus rien, suivant qu
voudra s'en tenir aux macroséismes seulement, ou bien tout à la f
aux macro- et aux microséismes. Au delà de cette limite inférieur
il n'y a pas lieu de se préoccuper de séismes, leur nombre fût
infini. Et de même les aires secouées autour d'un épicentre ne croisse
pas indéfiniment. Elles ont pour chacun d'eux un maximum jama
dépassé par le phénomène naturel, et dont la grandeur est variab
d'ailleurs d'un épicentre à un autre, et aussi d'une région sismiq
instable à une autre.

Ce sera entre ces deux limites expérimentales que l'hyperbo
équilatère restera une représentation justifiée de la relation entre l
nombres de séismes et leurs aires d'ébranlement, et ce sera entre ell
seulement que se feront les intégrations dès maintenant légitimes.

Considérons deux épicentres voisins, plus ou moins distants l'u
de l'autre A et A', et un point M de la droite qui les joint. Posons

$$\begin{cases} AA' = d \\ AM = r \\ A'M = r' + d - r \end{cases}$$

La détermination des courbes isosphygmiques revient à calcul
la cote sphygmique de M, ou le nombre de fois que ce point a é
ébranlé par les seismes émanés de A et de A', et ainsi de proche e
proche pour tous les épicentres de la région.

Soient à présent x (ou x') le nombre de séismes émanés de
(ou de A') ne frappant pas M, y (ou y') celui de ceux ayant seco
M, mais non A' (ou A), et enfin z (ou z') celui de ceux ayant dépas
A' (ou A). Les rayons d'action de tous ces séismes seront compr
entre les rayons minimums a (ou a') et maximums b (ou b'), dont o
a parlé plus haut, et entre lesquels seulement on peut faire le
intégrations. On a évidemment:

$$\left\{\begin{aligned} x &= \int_a^r \frac{K\,dr}{r^2} = K\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{r}\right) \\ y &= \int_r^d \frac{K\,dr}{r^2} = K\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{d}\right) \\ z &= \int_d^b \frac{K\,dr}{r^2} = K\left(\frac{1}{d} - \frac{1}{b}\right) \end{aligned}\right.$$

et de même:

$$\left\{\begin{aligned} x' &= K'\left(\frac{1}{a'} - \frac{1}{d-r}\right) \\ y' &= K'\left(\frac{1}{d-r} - \frac{1}{d'}\right) \\ z' &= K'\left(\frac{1}{d} - \frac{1}{b'}\right) \end{aligned}\right.$$

Mais les hyperboles équilatères relatives aux épicentres A et A′ sont semblables et par suite celle de A′ a pour équation:

$$\frac{n}{\alpha}\,\frac{r^2}{\alpha} = K$$

ou:

$$n\,r^2 = \alpha^2 K,$$

Il en résulte évidemment aussi que:

$$\left\{\begin{aligned} a' &= \alpha\, a \\ b' &= \alpha\, b \end{aligned}\right.$$

Cela ne touche manifestement en rien aux conditions essentielles du problème.

Ou pourrait même aller plus loin et supposer:

$$a = a'$$

car le rayon minimum d'action des séismes perceptibles doit être le même partout, du moins pour une même nature de terrain. Ce serait une simplification superflue, nuisant d'ailleurs à la symétrie des calculs, et qui aurait en outre l'inconvénient d'entraîner une identité peu probable en tout cas non évidente et non générale, des deux hyperboles équilatères. On a donc:

$$\left\{\begin{aligned} x' &= \alpha^2\,\mathrm{K}\left(\frac{1}{\alpha a} - \frac{1}{d-r}\right) \\ y' &= \alpha^2\,\mathrm{K}\left(\frac{1}{d-r} - \frac{1}{d}\right) \\ z' &= \alpha^2\,\mathrm{K}\left(\frac{1}{d} - \frac{1}{\alpha b}\right) \end{aligned}\right.$$

Les nombres de séismes ressentis respectivement en A, A′ et M ou leurs cotes sphygmiques, seront donc:

$$(1)\quad\left\{\begin{aligned} \mathrm{A} &= x + y + z + z' \\ &= \mathrm{K}\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b}\right) + \alpha^2\mathrm{K}\left(\frac{1}{d} - \frac{1}{\alpha b}\right) \\ &= \frac{\mathrm{K}(b-a)}{ab} + \frac{\alpha\mathrm{K}(\alpha b - d)}{bd} \\ &= \frac{\mathrm{K}}{abd}\,[d(b-a) + \alpha a(\alpha b - d)] \\ \mathrm{A}' &= x' + y' + z' + z \\ &= \alpha\mathrm{K}\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b}\right) + \mathrm{K}\left(\frac{1}{d} - \frac{1}{b}\right) \\ &= \frac{\alpha\mathrm{K}(b-a)}{ab} + \frac{\mathrm{K}(b-d)}{bd} \\ &= \frac{\mathrm{K}}{abd}\,[\alpha(b-a)d + a(b-d)] \\ \mathrm{M} &= y + z + y' + z' \\ &= \mathrm{K}\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{b}\right) + \alpha^2\mathrm{K}\left(\frac{1}{d-r} - \frac{1}{\alpha b}\right) \\ &= \frac{\mathrm{K}(b-r)}{br} + \frac{\alpha\mathrm{K}(\alpha b - d + r)}{b(d-r)} \\ &= \frac{\mathrm{K}}{br(d-r)}\,[(d-r)(b-r) + \alpha r\,[\alpha b - d + r)] \end{aligned}\right.$$

VIII. Incompatibilité entre les résultats des calculs géométriqu et analytique employés pour la détermination des isosphygmiques

M est la cote sphygmique ainsi obtenue directement par suppu tation des séismes émanés des épicentres A et A′ qui atteignent l point M intermédiaire. Mais on peut aussi vouloir la déduire de cotes connues de A et de A′, et c'est précisément le procédé géomé triqueé employé pour tracer les isosphygmiques à cote ronde. Cett seconde manière donne par proportion dans des triangles semblables

$$\frac{M - A}{r} = \frac{A' - A}{d}$$

ou:

$$(2) \qquad \frac{M}{r} = \frac{A}{r} + \frac{A' - A}{d}$$

Calculant les trois termes de cette équation (2) au moyen des valeurs (1), on a:

$$(3) \left\{ \begin{aligned} \frac{M}{r} &= \frac{K}{b r^2 (d - r)} [(b - r)(d - r) + \alpha r (\alpha b - d + r)] \\ \frac{A}{r} &= \frac{K}{a b d r} [(b - a) d + \alpha a (\alpha b - d)] \\ \frac{A' - A}{d} &= \frac{K}{a b d^2} [a (b - a) d + a (b - d) - (b - a) d - \alpha a (\alpha b - d)] \\ &= \frac{K}{a b d^2} [(\alpha - 1)(b - a) d + a b (1 - \alpha^2) - a d (1 - \alpha)] \\ &= \frac{K (\alpha - 1)}{a b d^2} \left\{ (b - a) d - a [(\alpha + 1) b - d] \right\} \end{aligned} \right.$$

L'équation (2) devient alors par substitution des valeurs (3):

$$(4) \left\{ \begin{aligned} & a d^2 [(b - r)(d - r) + \alpha r (\alpha b - d + r)] = \\ & d r (d - r) [d (b - a) + \alpha a (\alpha b - d)] + (\alpha - 1) r^2 (d - r) \\ & \left\{ (b - a) d - a [(\alpha + 1) b - d] \right\} \end{aligned} \right.$$

On a maintenant le droit de considérer a, ou le rayon d'action minima des séismes perceptibles émanés du point A, comme aussi petit qu'on voudra, et même nul, puisqu'il ne figure plus en dénominateur. L'équation (4) se réduit alors à:

$$r (d - r) [d + (\alpha - 1) r] = 0$$

dont les trois racines sont:

$$\left\{ \begin{aligned} r &= 0 \\ r &= d \\ r &= \frac{d}{1 - \alpha} \end{aligned} \right.$$

Cela veut dire que la supputation directe et analytique du nombre de séismes ressentis en un point quelconque M de la droite AA' n'est identique au résultat obtenu en le déduisant géométriquement des nombres de fois que les épicentres A et A' ont joué que pour ces deux épicentres eux-mêmes et un troisième point particulier dont la position sur la droite AA' dépend du rapport de similitude des deux

hyperboles équilatères. Partout ailleurs sur cette droite les résultats sont différents. Ce troisième point disparaîtrait lui-même, si

$$\alpha = 1$$

c'est-à-dire si les deux épicentres donnent lieu à la même hyperbole. Enfin il n'y a même plus identité de résultats pour les deux épicentres et à fortiori pour le troisième point dès que l'on considérera un troisième épicentre.

La continuité introduite dans la nouvelle définition des isosphygmiques n'a donc pas suffi à lever toute difficulté à leur construction.

IX. La continuité introduite dans la nouvelle définition des isosphygmiques n'est qu'apparente.

Il résulte de cette démonstration que l'on obtiendra deux systèmes complètement différents de courbes isosphygmiques selon que l'on calculera par proportion géométrique les cotes sphygmiques des points de la région en partant du nombre de fois que les épicentres ont été en activité ou que l'on cherchera directement par le calcul, ou même par l'observation comme on va le voir plus loin, le nombre de fois que chaque point de la région a été ébranlé par des séismes. Cette indétermination suffirait évidemment à elle seule pour faire rejeter ces courbes. Mais il y a plus.

Précédemment on a cru faire une concession en rétablissaut la continuité, simplement par ce que l'on proposait de construire les isosphygmiques au moyen du nombre de chocs ressentis en chaque point de la région. La continuité ainsi introduite n'était qu'apparente.

En effet il faut, si l'on ne veut recourir au presque impraticable calcul analytique donné plus haut et étendu à un grand nombre d'épicentre, il faut, dis-je, tracer pour chaque séisme le périmètre de l'aire ébranlée, et voir combien de fois chaque point de la région a été englobé dans ces périmètres. Or on voit que par ce procédé, d'ailleurs très laborieux lui aussi, la surface de la région est découpée en un nombre considérable de polygones curvilignes, que tous les points de chacun d'eux ont été secoués un même nombre de fois, mais que de l'un àl'autre des polygones adjacents, ou plages, les nombres de chocs ressentis différent. La continuité subsiste de plage à plage contigue dont les nombres de séismes diffèrent d'une unité, mais non de point à point voisin, de sorte que la surface topographique se réduit à une succession de paliers horizontaux. Encore une fois les isosphygmiques disparaissent.

En résumé de quelque façon qu'on aborde le problème de la représentation par courbes de la répartition de l'activité sismique à la surface d'un pays instable ou se heurte à une impossibilité.

Cela n'a rien d'étonnant et pouvait être prévu à priori, car le phénomène sismique étant essentiellement discontinu dans l'espace, aussi bien que dans le temps, on ne peut espérer lui trouver une figuration graphique continue. Il faut donc de toute nécessité s'en tenir à un système discontinu, et celui des points représentatifs de grandeur convenable et proportionnée à une échelle conventionnelle aux nombres des séismes qui y ont eu leur épicentre, paraît très bien remplir toutes les conditions qu'on est en droit d'en exiger. Cela d'autant mieux que l'on ne fait ainsi que traduire graphiquement les faits observés, rien de plus. En outre ils permettent, comme on peut s'en assurer au moyen des cartes accompagnant les monographies sismiques que j'ai publiées, de voir d'un seul coup d'œil la répartition géographique et topographique des épicentres, d'en apprécier l'importance relative, et de découvrir de plano leurs rapports avec les accidents primordiaux du terrain, c'est-à-dire d'en trouver les causes géologiques et géomorphogéniques. Il est donc pour le moins inutile pour ne rien dire de plus de construire à grands frais de travail des courbes sans existence réelle, et qui, pour séduisantes et suggestives qu'elles paraissent, n'en faussent pas moins les conditions physiques discontinues dans lesquelles se produisent les phénomènes sismiques.

X. Le phénomène sismique tel qu'il se présente dans la nature, n'est pas dénué de toute continuité.

Les raisonnements mathématiques précédents sont absolus comme tous ceux de cette espéce, et par suite ont conduit à une conséquence tout aussi absolue, la condamnation définitive des courbes isosphygmiques. En est-il exactement de même dans la nature? Evidemment non.

D'abord on a admis que les tremblements de terre émanent d'un point géométrique. On sait que le plus souvent il n'en est rien. Les séismes ont tous des causes géologiques qui agissent le long de failles, de lignes de fracture préexistantes ou non, ou bien sur toute la surface plus ou moins étendue d'une faille chevauchée (Thrust-plane Faltungsüberschiebung) etca. La cause efficiente du séisme agit ainsi sur une ligne ou mieux sur une surface, et non en un point comme on l'a supposé dans tout ce qui précède. La notion d'épicentre

s'élargit donc singulièrement et l'intégration de l'hyperbole équilatè
deviendrait double ou triple, en tout cas beaucoup plus compliqu
Mais il est évident que la non-identité des résultats des calculs gé
métrique et analytique des cotes sphygmiques subsisterait à fortio
suivant qu'on leur appliquerait l'un ou l'autre procédé, tous de
étant d'ailleurs à modifier en conséquence.

Mais cette conclusion de la non-identité ne subsisterait plus
même degré si les épicentres n'étaient pas complement isolés. Si l'
considère un pays très instable et si l'on y a fait des observatio
suffisamment prolongées, on voit les grands centres d'instabili
former des groupes assez compacts correspondant probablement à u
seul et unique accident géologique sous-jacent et donnant naissan
à l'activité de ces épicentres. Dans l'intérieur de ces groupes
montrent cà et là des épicentres secondaires de très faible importan
qui servent de traits d'union entre les premiers, comme si l'acciden
géologique jouait surtout au dessous des grands épicentres sans laisse
que d'agir de temps à autre sous les petits. Et de même deux groupe
voisins, mais bien indépendants, de ces épicentres principaux, son
reliés par d'assez nombreux épicentres secondaires, comme si le
tremblements de terre issus de ces groupes, ou plutôt leurs cause
en provoquaient par contre coup d'autres moins nombreux et générale-
ment plus faibles dans les espaces intermédiaires. Ces séismes émané
des foyers secondaires d'instabilité ont été fort heureusement appelé
sympathiques ou de relais, épithétes qui conviennent tout aussi bien
à leurs épicentres eux-mêmes.

Un exemple typique de cette intéressante disposition se montr
dans l'Erzgebirge où Brambach et Graslitz avec les localités voisine
constituent deux importants groupes de foyers de tremblements de
terre, et tout-à-fait indépendants l'un de l'autre. Entre ces deux
foyers d'instabilité et tout autour d'eux se montrent de nombreux
épicentres relativement très secondaires, qui ne laissent pas cependant
que de jouer à leur tour après et même pendant que les premiers
ont donné lieu à des essaims ou à des séries de secousses. On
pourrait citer beaucoup d'autres exemples de dispositions variées d
ce genre, mais dont celui de l'Erzgebirge est le véritable type.

Mais alors la discontinuité du phénomène sismique naturel, d'ab-
solue qu'on l'avait tout d'abord considérée dans l'espace, fait plac
à une continuité relative, telle toutefois que les différences d'instabilit
entre les grands et les petits centres sont véritablement énorme
Les isosphygmiques reprennent alors une existence réelle tout en

restant soumises aux causes secondaires d'indétermination. Cependant elles n'apprendront rien de plus sur la répartition de l'instabilité autour des foyers principaux ou groupes d'épicentres, dont la connaissance est préalablement nécessaire à leur construction. Ces groupes figureront des montagnes très élevées aux contours abrupts et tourmentés, et une vallée extrêmement profonde les séparera. Le travail considérable dépensé à les tracer l'aura donc été en pure perte au regard de la simplicité du système des points représentatifs. D'ailleurs dans l'intérieur de ces groupes d'épicentres très riches en séismes et dont les intervalles sont parsemés d'épicentres très pauvres, le réseau des isosphygmiques prend une complication extrême; c'est un inextricable fouillis d'éminences et de dépressions sans aucune signification par rapport à l'accident géologique principal auquel l'instabilité du groupe doit son origine, et que les isosphygmiques ont précisément la prétention de déceler.

Donc même en se rapprochant des conditions réelles de la nature qui, elle, n'admet ni continuité ni discontinuité absolues dans le cas qui nous occupe, natura non fecit saltum, la condamnation des courbes isosphygmiques n'est guère atténuée.

XI. Application comparative des isosphygmiques de nouvelle définition et des points représentatifs à la répartition de l'instabilité dans les Khasi-Hills (Assam).

On a donné ici comparativement par points et par isosphygmiques la représentation de l'instabilité dans les Khasi-Hills, province de l'Inde nord-orientale, et qui a été du 12 juin 1897 à la fin de 1898 le théâtre d'un très grand nombre de secousses à la suite du grand tremblement de terre de cette première date, peut-être un des plus remarquables et des plus violents dont l'histoire fasse mention, et dont Oldham a publié une si magistrale étude.

Les isosphygmiques ont été tracées en comptant, procédé extrêmement laborieux, combien de fois chacun des 36 épicentres disséminés dans les Khasi-Hills, et qui ont été actifs pendant cette période, a ressenti de tremblements de terre, soient qu'il en ait été l'épicentre, soient que ces chocs soient venus d'ailleurs, mais principalement des 35 autres. Puis choisissant arbitrairement un des systèmes possibles de facettes triangulaires pour remplacer la surface topographique à tort supposée existante, des cotes sphygmiques des épicentres on a déduit par proportion géométrique les isosphygmiques à cote ronde

de 100 en 100. Le nombre des secousses utilisées a été de plus d 5000, dont 1730 signalées ressenties en plus d'une localité ont nécessit la construction sur la carte du périmètre plus ou moins régulier d leur aire d'action. Ces chiffres montrent quel travail considérabl impose la construction des isosphygmiques.

Mais qui n'avouera combien la figuration par points représen-tatifs est plus claire, sans compter l'avantage très appréciable pour-tant de ne faire que refléter les observations en dehors de tout hypothèse, et celui, non moins important pour la pratique, de n'im-poser d'autre travail que celui, dans les deux cas inévitable, de l détermination plus ou moins approchée de l'épicentre de chaqu séisme. Dès le premier coup d'œil la répartition des épicentres les plus actifs autour de la ligne de faîte des Khasi-Hills s'impose à l'esprit, tandis qu'elle ne se décèle qu' à un examen attentif et soutenu du réseau des isosphygmiques.

Notons encore que l'aspect de la carte sismique ainsi construite par nombres totaux de fois que les épicentres ont été ébranlés est identiquement le même que par le procédé ordinaire au moyen du nombre de fois que chaque épicentre a été actif.

Tableau des épicentres des Khasi-Hills avec le nombre de fois qu'ils ont été épicentres et le nombre total des séismes qui les ont ébranlés.

Maophlang	801	1497	Nongkana	24	491
Mairang.	583	1207	Tanghàr	35	461
Laitlyngkot	207	1011	Nongwachin	10	456
Shillong	319	978	Surarim.	11	409
Nongstoin	37	691	Modem	8	381
Nongdagaon	58	677	Dumpet.	2	371
Mokersa	3	666	Noukrem	2	365
Mosao	0	654	Langar-Bazar.	11	361
Maoda-Sum	10	640	Nougmen	21	315
Nongblay	107	6[illegible]9	Umter	4	312
Laimiosang	1	621	Chela	4	285
Maomarin	10	690	Japunong	3	272
Tingion	3	689	Pomperthat	2	249
Rangthang.	1	577	Nongpoh	5	245
Nongmen	21	544	Nongjuri	8	174
Patarknag	28	525	Maokamro	1	161
Cherrapunjee	67	510	Siestar	5	147
Sado	64	499	Mathan	1	139

Remarque. On voit dans ce tableau des différences notables de classement des épicentres suivant les nombres de fois qu'ils ont joué comme tels ou qu'ils ont été ébranlés par des tremblements de terre. Cela ajoute encore à l'indétermination du problème.

XII. Conclusions.

En définitive les teintes et les courbes, combinées ou non avec des hachures intermédiaires, aussi bien que tout autre mode qu'on pourrait imaginer, mais continu, de la répartition de l'instabilité ou de la sismicité à la surface d'une région, sont décidément à rejeter, et cela malgré la très haute et non contestée autorité des sismologues qui s'en sont servi. Il faut revenir à un système discontinu comme celui des points représentatifs dont je me sers depuis fort longtemps, ou à tout autre analogue, tel par exemple que celui de segments de droites de hauteurs variables et proportionnées aux nombres de séismes observés, dont Credner et Uhlig ont fait usage dans l'étude chronologique des essaims de séismes dans l'Erzgebirge en ces dernières années, procédé que l'on pourrait facilement étendre à la répartion sur la carte.

Le phénomène sismique est essentiellement discontinu; c'est là le fait primordial auquel il fant de toute nécessité se conformer strictement pour l'étudier en toute rigueur scientifique.

Vannes, le 4 décembre 1901.




551.22



LES

RÉCENTS DÉSASTRES SÉISMIQUES

PAR

F. de MONTESSUS de BALLORE

EXTRAIT DE LA REVUE CIEL ET TERRE, t. XXVII, 1906

BRUXELLES
P. WEISSENBRUCH, IMPRIMEUR DU ROI
ÉDITEUR
49, RUE DU POINÇON, 49

1906

Les récents désastres séismiques.

A trois reprises différentes depuis moins de sept mois, les tremblements de terre sont venus nous rappeler le peu de fixité, au moins relative, de la surface terrestre et désoler successivement les Calabres d'abord, puis ensuite deux points du *Cercle de feu*, l'île de Formose et la Californie, confirmant du même coup l'indépendance des phénomènes séismiques et volcaniques, puisqu'en même temps que les évents éruptifs du Pacifique montraient la plus grande tranquillité, le Vésuve ne dévastait ses environs immédiats que bien longtemps après la ruine des cités calabraises. C'est qu'en effet, si Volcans et Tremblements de Terre, trop souvent associés dans les titres et les textes d'ouvrages classiques, restent encore, au moins dans l'opinion publique en retard, d'inséparables manifestations des forces naturelles qui menacent l'homme et ses œuvres, la Séismologie moderne s'est définitivement affranchie d'un compromettant voisinage, les phénomènes qu'elle étudie exclusivement se suffisant à eux-mêmes, sans aucune aide, fût-elle volcanique, pour parfaire leur travail de destruction et de mort. Tel est le premier fait qui apparaît clairement dans la douloureuse expérience de ces derniers temps, puisque la ruine de Monteleone n'a pas été l'écho d'une exacerbation du Vésuve, ni de l'Etna, que Formose n'a pas d'authentiques volcans actifs et qu'enfin le gigantesque Shasta n'a pas préludé à l'écroulement de la reine du Pacifique en réveillant ses feux, cependant bien récemment apaisés.

Cette période de convulsions rend opportune l'exposition succincte des résultats les plus récents de la Séismologie, que ces désastres n'ont point surprise, car ils rentrent exactement dans le cadre restreint qu'elle est en droit maintenant d'assigner très étroitement à ces phénomènes

à la surface du globe, cadre immuable et fatal héritage des temps géologiques les plus reculés, et si elle ignore souvent pourquoi il tremble en un point particulier, elle a la certitude d'arriver petit à petit à cette connaissance, forte qu'elle est d'avoir acquis celle de la répartition générale des régions à tremblements de terre.

Les chaînes de montagnes qui se dressent à la surface du globe ne se distribuent point au hasard, si l'on ne tient compte que des plus élevées, en même temps de surrection plus récente, de l'époque tertiaire seulement. Elles se développent suivant deux grands cercles de la sphère terrestre : l'arc alpino-himalayen, érigé au Nord d'une série de profondes dépressions — Méditerranée, Mésopotamie, golfe Persique, plaine indo-gangétique, abîmes de l'océan Indien au pied des abrupts de Sumatra et de Java, abîmes du Pacifique d'où surgissent les îles de la Mélanésie, Méditerranée antilienne —; le cercle circumpacifique des Andes et des Rocheuses, entourant à l'Ouest la vaste et profonde cuvette du Pacifique et se continuant à l'Est par des terres morcelées du Kamtchatka, Kouriles, Japon, Formose, Philippines, Moluques, Nouvelle-Zélande. Sauf d'insignifiants déplacements, ces deux traits fondamentaux de la géographie actuelle se retrouvent à toutes les époques géologiques, comme si la Terre avait toujours été largement fendue au pied de l'arc alpin ou de ses prédécesseurs, et pour ainsi dire incomplètement recouverte de son écorce tout autour du Pacifique, dont la masse d'eau remplace la matière absente. Or, ils sont étroitement et presque exclusivement, sauf de très rares exceptions, le siège des régions à tremblements de terre. Ainsi s'établit un intime lien entre la séismologie et la géologie générale et c'est la réponse *sotto de la Terra* que nous pouvons, après deux siècles et demi, faire à Galilée, lorsqu'il demandait prématurément : *Se la cagione de' tremuoti si deve stimare esse sopra o sotto de la Terra.*

En dehors de ces arcs malheureusement privilégiés, dès longtemps mobiles et théâtre des grandes vicissitudes géologiques que visitent les tremblements de terre, d'autres compartiments terrestres — Bouclier Finno-Scandinave, Russie, Sibérie, Canada, Brésil, Afrique, Arabie, Hindoustan, Australie — se montrent, par un remarquable contraste, parfaitement à l'abri des secousses du sol : ce sont d'anciennes surfaces continentales à peine modifiées dans leurs contours successifs par des transgressions et des régressions marines, qui les ont peu disloquées sans leur enlever jamais ni leur niveau général, ni leur fixité d'ensemble.

De bonne heure la *physionomie* terrestre a acquis ces grands traits, et, s'ils ont varié quelque peu dans le détail, la séismologie va nous permettre de les retrouver dans le passé le plus lointain. En particulier, l'Europe a vu s'ériger tout d'abord la chaîne calédonienne, superbe à l'époque primaire, réduite maintenant sous l'action inéluctable du temps et de l'érosion, à d'humbles débris, les îles Loffoten, l'Écosse et quelques collines du Canada et de la Nouvelle-Angleterre, souvenir du temps peu éloigné où elle franchissait l'Atlantique septentrional émergé jusqu'à l'aurore des temps quaternaires, simplement ennoyé maintenant, plutôt qu'effondré. Plus tard se sont élevées, un peu plus au Sud, les chaînes carbonifériennes, de la Bretagne à l'Oural et aux rivages du Pacifique, pendant qu'à leur pied, telle une antique Méditerranée, s'étendait une longue série de dépressions au fond desquelles la houille se déposait et préparaît la richesse des pays noirs qui, de l'Angleterre par la Belgique, la Westphalie, le Donetz, l'Altaï, la Chine et le Japon, s'alignent presque sans interruption jusqu'en Extrême-Orient. Enfin plus au Sud encore, après qu'une impitoyable érosion eut réduit celles-ci à l'état de modestes hauteurs — Bretagne, Auvergne, Ardennes, Bohême, Oural, etc. — les chaînes alpino-himalayennes se sont

dressées superbes, à peine seulement entamées, pendant que la grande rupture méditerranéenne se rapprochait de nouveau de l'équateur. Or l'instabilité et la stabilité séismiques réflètent fidèlement ces vicissitudes : les régions calédoniennes ignorent les tremblements de terre qui secouent modérément les restes des chaines carbonifériennes, mais ébranlent jusque dans leurs fondements les chaînes tertiaires de l'arc alpino-himalayen. Et nous sommes fondés à penser que les tremblements de terre ont suivi, dans le temps, la même marche descendante vers le Sud, et toujours accompagné les grandes zones de relief, à mesure qu'elles se déplaçaient le long de l'immense fente, mobile elle-même dans la même direction.

Ainsi, à la lumière de la géologie moderne, les tremblements de terre deviennent la conséquence directe du refroidissement séculaire de la planète et du raccourcissement de rayon qui en résulte forcément. Nous pouvons nous représenter ce processus de la manière suivante.

De l'Asie et ses dépendances océaniennes à l'Amérique, sur l'hémisphère terraqué, la surface terrestre s'est de bonne heure divisée en compartiments rigides, les vieilles aires continentales, sortes de pièces d'armures que réunissaient de flexibles bandes de cuir, les géosynclinaux, dépressions où s'accumulaient les sédiments pendant les périodes de calme. Puis, à mesure que l'écorce devenait trop ample pour le rayon rapetissé par le refroidissement, elle devait se plisser pour diminuer elle-même sa surface. Mais elle ne pouvait loger l'excès de matière qu'à l'extérieur et les chaînes s'érigeaient en longs bourrelets saillants par un énergique plissement des sédiments. De tels mouvements localisaient ainsi les tremblements de terre exclusivement le long de ces étroites zones de moindre résistance. Pour l'hémisphère aqueux du Pacifique les événements paraissent s'être développés un peu différemment : il semble que la couverture superficielle des masses continentales ait

présenté, de tout temps, une grande lacune, grossièrement circulaire, une immense cuvette restée vide, dès les époques les plus reculées, le Grand Océan, dont l'emplacement n'aurait jamais été rempli par un continent actuellement effondré. Telle est du moins la dernière conception de Suess, le Newton de la géologie moderne. Dès lors, sous l'influence du rétrécissement du noyau par le refroidissement séculaire, le vaste ombilic tend à se refermer de la circonférence vers le centre et les bords, au lieu de se plisser, glissant concentriquement en donnant lieu à de gigantesques charriages, remplaçant ici les actions de plissement. Cette tendance centripète est contrebalancée par le frottement et les masses s'érigent en chaînes qui chevauchent les couches plus profondes ainsi retardées dans leur mouvement. En attendant un avenir immensément éloigné, où le Pacifique serait ainsi comblé par recouvrement, les terres du pourtour se morcellent surtout le long de l'hémisphère terraqué, du Kamtchatka à la Nouvelle-Zélande, et s'ébranlent sous l'action des plus violents tremblements de terre.

Ces vues étonneront peut-être par leur ampleur, et cependant elles se vérifient partout jusque dans le moindre détail. On ne peut entreprendre ici une aussi longue démonstration, d'ailleurs purement expérimentale. Qu'il suffise d'en donner un exemple, choisi entre mille. Prenant dans des régions bien connues de tous quatre chaînes dans leur ordre d'âge — les Ardennes, les Pyrénées, les Alpes, les Apennins — on y voit les séismes, inconnus dans la première, devenir fréquents mais modérés dans la seconde, déjà redoutables dans la troisième et désastreux dans la dernière, dont la surrection a presque eu l'homme pour témoin. Ici la géologie vient en aide à la séismologie qui, à son tour, ne demande qu'à éclairer sa devancière; c'est ainsi qu'elle a fait soupçonner sous les épaisses alluvions de la plaine indo-gangétique les racines d'une ancienne chaîne, complè-

tement arasée et dont les dislocations profondes, conservant un reste de vitalité, expliquent des séismes sans cela dénués de toute raison tectonique.

L'astronomie a dû renoncer à déterminer quel est le véritable état interne du globe, ses équations se prêtant pour ce problème à trop de solutions arbitaires. La séismologie veut dire son mot. Sans se prononcer sur l'existence d'un noyau central visqueux et de haute température, hypothèse d'ailleurs invérifiable tant que nous ne ferons qu'égratigner l'écorce par nos travaux de mines, et souvent invoquée pour expliquer les tremblements de terre, elle se contente d'affirmer que les séismes, phénomènes seulement géologiques, se produisent à une profondeur bien moindre, puisqu'autrement, dépendant du substratum interne général, ils se produiraient partout uniformément et ne pourraient avoir leurs zones d'élection. Il y a mieux : les secousses du sol constituent notre seule mode de communication avec l'intérieur du globe, dont ils nous apportent des nouvelles que la séismologie cherche à déchiffrer. Ne se contentant point de suivre la surface terrestre, les ondes séismiques se propagent aussi par l'intérieur dans toutes les directions et après avoir, chemin faisant, subi l'influence des conditions élastiques et structurales qui y règnent en chaque point, elles viennent s'enregistrer sur les délicats séismographes du monde entier, en y réflétant fidèlement toutes les circonstances du milieu. C'est en étudiant les modifications de mouvement ainsi exercées que la séismologie, peu favorable à la vieille hypothèse du feu central, espère bientôt pouvoir définir l'état du noyau et fournir à l'astronomie les données qui lui manquent encore, pour calculer l'effet de la constitution interne du globe sur les astres éloignés.

La séismologie a fait rapidement la conquête du monde des physiciens, non seulement parce que les ondes et les vibrations des tremblements de terre font intervenir les plus subtiles propriétés de la matière dans leur propagation

dans un milieu imparfaitement élastique, mais aussi par la nécessité de l'emploi de délicats appareils, les séismographes, dont la construction fait appel aux plus savantes spéculations de la mécanique rationnelle et à la plus grande ingéniosité des inventeurs ; elle a conquis de haute lutte, ainsi qu'on vient de le voir, sa place au soleil de la géologie, mais, en même temps, elle s'est affranchie de la tutelle de la météorologie, dont elle ne veut pas accepter les lois périodiques, incapables, au même titre que les influences astrales, lunaires ou non, de s'appliquer aux soubresauts, d'origine géologique, de l'écorce terrestre. Elle veut aussi avoir sa place dans le grand domaine des applications pratiques qui caractérisent les ambitions de la science moderne dans toutes ses directions, et s'imposer à l'attention publique autrement que par la commisération qui s'attache aux catastrophes causées par les tremblements de terre.

Sans nous arrêter à la prévision des coups de grisou, encore trop peu confirmée, nous nous contenterons de signaler la surveillance des voies ferrées et des ponts métalliques. C'est que, neufs ou détériorés par un long usage et un intensif trafic, ces ouvrages de l'homme vibrent différemment au passage des trains plus ou moins lourdement chargés et rapides, de sorte que leur état réel s'imprime en caractères lisibles sur les séismogrammes enregistrés au voisinage. C'est là un précieux moyen d'être averti de l'urgence à les réparer, de façon à éviter des catastrophes.

L'étude des tremblements de terre a mieux encore à promettre aux populations qu'ils désolent, et elle peut dès maintenant tenir. Les régions instables le sont immuablement et n'en sont malheureusement jamais à leur *dernier* désastre ! La séismologie en affirme la répétition, mais sans pouvoir en préciser la date, triste privilège que nous savons, pour certains pays, se prolonger au loin dans le passé des temps géologiques. L'homme n'a-t-il donc qu'à se croiser les bras devant une inéluctable fatalité, et les

populations des Calabres ou de la Californie reconstruire impertubablement leurs cités renversées, espérant vaguement que le prochain désastre n'atteindra que leurs héritiers : *après nous le tremblement de terre!* Assurément non, et si l'énergie dont font preuve les Américains à relever San-Francisco de ses ruines fumantes est admirable, leur belle insouciance est digne des musulmans les plus fatalistes. C'est que, sans qu'ils paraissent s'en douter, les séismologues ont cherché, par la plus minutieuse comparaison des dommages des édifices divers dans les villes détruites, à déterminer les meilleurs modes de construction dans les pays à tremblements de terre; ils savent quels emplacements recommander, quels autres proscrire; ils peuvent sans hésitation conseiller tel mode de bâtir et condamner tel autre. Bref, dans leurs travaux, on peut et partant on doit trouver le moyen d'éviter les dommages, dans une proportion que les plus modestes d'entre eux n'évaluent pas à moins des deux tiers.

Ces recherches sont restées lettre morte et il y a lieu de craindre qu'il en sera encore longtemps ainsi, puisque près de nous, sur la côte d'Azur et à l'île d'Ischia, de parfaites et strictes régles d'édilité pour les pays à tremblements de de terre n'ont pas, après les désastres de 1887 et de 1883, trouvé d'autorités publiques assez énergiques pour en imposer la sévère application. A peine quelque architecte isolé s'en est-il inspiré, au risque réel de passer pour un original. La séismologie ne s'est donc pas laissé hypnotiser par les intéressantes révélations de ses séismogrammes, ni par la grandeur de ses horizons géologiques, elle est actuellement toute prête à remplir un rôle humanitaire au premier chef dès qu'on prendra la peine de le lui demander. Si les promesses de son présent lui assurent un bel avenir scientifique, elle revendique aussi le droit d'être une bienfaitrice de l'humanité en faveur des descendants de ceux que les tremblements de terre viennent de si cruellement éprouver,

55\.22

et a
seco
seul
dem

Pelez des pommes de terre cuites sous la cendre, après les avoir soigneusement épluchées.
Ajoutez à la purée un très gros morceau de beurre et un verre d'eau-de-vie.
Ajoutez aussi un peu de crème de lait.
Liez la pâte avec un jaune d'œuf frais après l'avoir longtemps battue.
Roulez-la en croquettes et faites frire dans de bonne graisse chaude.
Servez chaud.

CENDRILLON.

GAZETTE SCIENTIFIQUE

—

La distribution des tremblements de terre.

Nous venons d'avoir, en moins de sept mois, trois grands tremblements de terre : en Calabre, à Formose, à San-Francisco. Et il ne s'est produit, pendant ce temps, qu'une éruption de volcan : celle du Vésuve. Encore a-t-elle suivi d'assez loin les secousses de la Calabre et paraît-elle indépendante de celles-ci.

Les séismologues auraient donc raison de croire que les tremblements de terre doivent être étudiés indépendamment des éruptions volcaniques auxquelles ils ont été trop souvent associés.

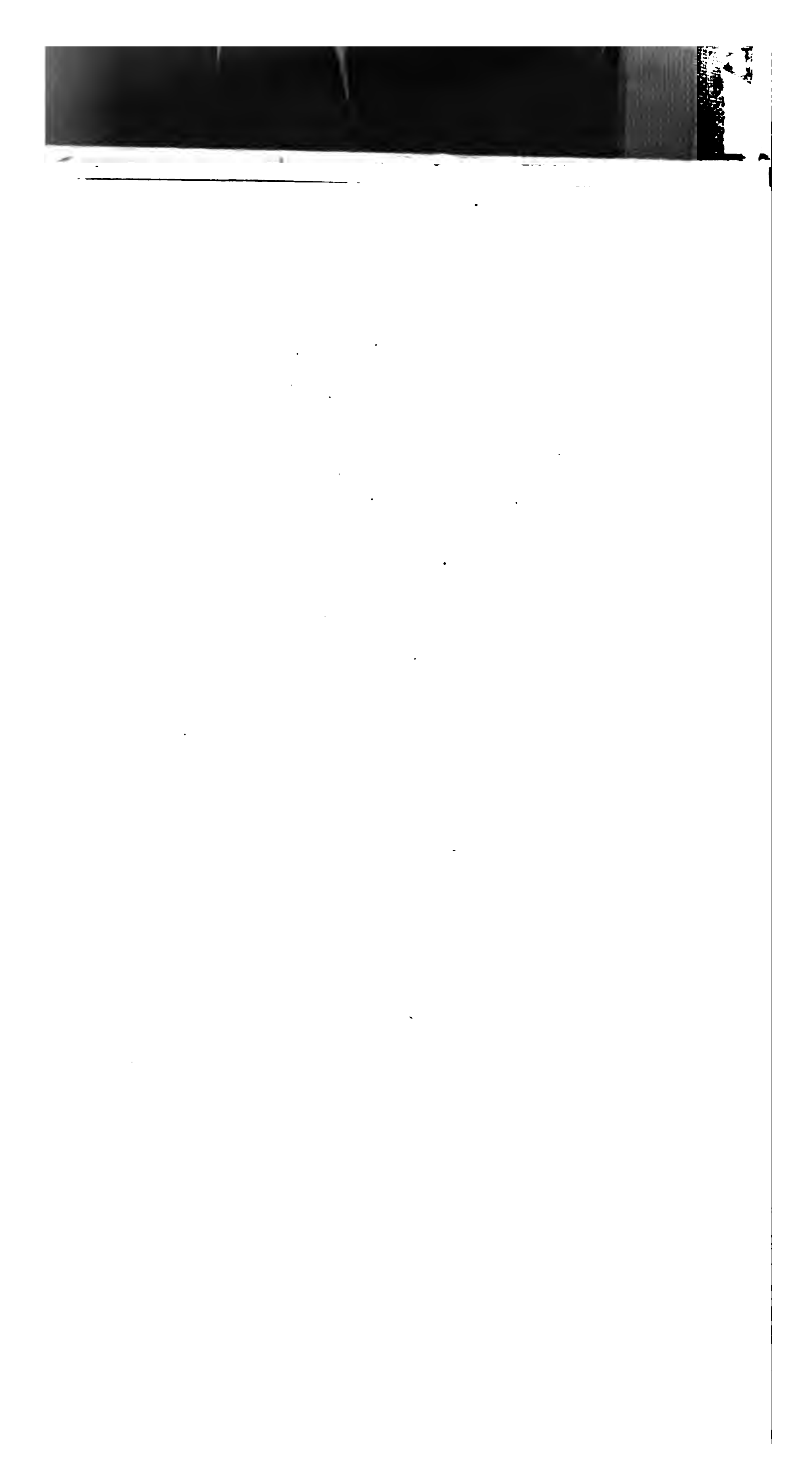
Mais quelles sont les idées les plus récentes qu'on a pu se faire de ces redoutables frissons? Un spécialiste autorisé, M. F. de Montessus de Ballore, vient de les exposer dans « Ciel et Terre ». Elles constituent une théorie rassurante pour les habitants de certaines régions du globe autant qu'inquiétante pour ceux d'autres. Je vais tâcher de la transcrire en traduisant en langage vulgaire ce qu'elle a d'un peu spécial pour les profanes.

La séismologie croit connaître aujourd'hui la répartition générale des régions pour lesquelles les tremblements de terre sont « un fatal héritage des temps géologiques les plus reculés ».

Jetez un coup d'œil sur un planisphère ou une mappemonde. Observez les chaînes de montagne les plus élevées du monde — qui sont aussi celles dont la formation est relativement récente : car elles remontent à l'époque tertiaire seulement.

C'est d'une part la crête des Alpes et de l'Himalaya qui se continue à travers les profondeurs de l'océan Indien et du Pacifique, par les reliefs de Sumatra, de Java, des îles de la Mélanésie. Elle s'élève au nord d'une série de profondes dépressions représentées par la Méditerranée, la

La Gazette (Bruxelles) (Supplém



XV.

Introduction à un essai de description sismique du globe

et

mesure de la sismicité

par

F. de Montessus de Ballore.

Avec une figure dans le texte.

Le phénomène géologique ou plutôt géodynamique appelé tremblement de terre ou séisme, est encore extrêmement mystérieux dans ses causes intimes. La science qui s'en occupe, appelée « sismologie », est toute moderne et n'a créé ses méthodes et ses instruments que depuis quelques lustres seulement. Ce n'est qu'à notre époque que l'étude des tremblements de terre est entrée dans une voie véritablement rationnelle, car on peut dire que depuis l'antiquité jusqu'à nos jours elle n'avait fait aucun progrès sensible et était restée un chaos d'hypothèses ridicules mettant ces phénomènes en relation avec des faits extérieurs à l'écorce terrestre (météorologiques, cosmologiques ou autres) les plus disparates et les plus inattendus, alors que les séismes se produisant évidemment dans cette écorce même et à une profondeur variable, mais vraisemblablement non excessive, ne sont que la manifestation d'une action purement géologique. C'est donc fort judicieusement que les sismologues italiens, et en particulier de Rossi, ont créé le terme de Géodynamique. Il va de soi que l'on ne parle ici que des vrais tremblements de terre, ou « macroséismes », sensibles à l'observation directe de l'homme, mais non des « microséismes », accusés par les instrument si sensibles des observatoires géodynami-



ques, et dont la nature et les causes sont probablement mixtes, les uns étant des vibrations terrestres extrêmement faibles et d'origine géologique, les autres au contraire pouvant avoir une cause externe telle que : action des vents, des marées, de la chaleur solaire, de la pression barométrique, des courants océaniques ou autres, des accumulations de neige, des avalanches, des éboulements ou glissements de terrains, des mouvements de trains de chemins de fer, des explosions de mines, des phénomènes volcaniques etca, etca, sur la masse terrestre superficielle.

En résumé la sismologie est décidément un important chapitre de la géologie.

Dire cependant que les séismes sont d'origine géologique est énoncer une vérité à peu près évidente par elle-même, mais qui, comme beuacoup de choses trop claires, est restée longtemps méconnue, ce n'est d'aileurs pas là dire beaucoup sur les causes qui les produisent, et dont la recherche est le but principal de la sismologie. La connaissance plus ou moins complète de ces causes aurait l'immense avantage de jeter un grand jour sur les forces qui sont en activité constante ou intermittente au sein de l'écorce terrestre, par suite sur la formation de cette écorce même et des accidents qui la caractérisent, et sur son devenir. Peut-être irait-on jusqu'à la prévision des catastrophes, et par conséquent à la possibilité de diminuer tout au moins dans une certaine mesure le nombre des victimes qu'elles immolent au jeu des forces naturelles, cela sans préjudice des simples précautions à prendre pour les constructions dans les pays à tremblements de terre, précautions suffisamment efficaces au moins dans beaucoup de cas, et assez bien connues maintenant, mais que l'on s'obstine trop à négliger (aures habent et non audient) au grand dam des populations. Ce sont là pour la sismologie buts d'assez belle envolée.

Malheureusement le problème sismologique se pose à l'homme dans des conditions tout-à-fait défavorables: le milieu dans lequel se produit le phénomène à étudier lui étant à peu près inaccessible, on ne perçoit que ses effets consécutifs, c'est-à-dire l'ébranlement à la surface terrestre, loin du foyer de l'action. Aussi faut-il prendre des voies détournées.

Bien des faits montrent que les tremblements de terre, au moins dans la plupart des cas, ne prennent pas naissance à une très grande profondeur au dessous du sol. Par conséquent on peut avoir souvent des notions assez précises sur la nature et la disposition des

couches au sein desquelles le phénomène s'est produit. Quand une telle étude aura été faite pour un très grand nombre de points ébranlés et dans tous les pays, on sera bien près de tenir la ou les causes des séismes. Or on sait combien les divers pays du globe diffèrent quant à la fréquence et à l'intensité des tremblements de terre qui s'y produisent; là ils sont presque inconnus, ici au contraire ils sont pour ainsi dire constants et tiennent les populations sous le coup du souvenir des derniers désastres et de la crainte de ceux qu'il est prudent d'attendre. Il est évident que les pays où les phénomènes sismiques se présentent avec une telle différence d'importance doivent différer en quelque chose, et il y a lieu de chercher en quoi. Pour cela il faut tout d'abord classer les diverses régions du globe relativement aux tremblements de terre, c'est-à-dire faire de l'univers la description sismique la plus complète possible.

Mais cela suppose une mesure numérique de l'importance des tremblements de terre en chaque pays. C'est à dessein que l'on emploie, provisoirement du moins, une expression aussi vague, cette notion devant être précisée plus loin. La nécessité d'une telle mesure est facile à concevoir. C'est ainsi qu'en météorologie pour déceler les causes multiples des précipitations aqueuses, l'on a exécuté les cartes pluviométriques basées sur une mesure chiffrée, « la hauteur d'eau tombant en moyenne chaque année sur les divers points du globe ». De la même façon il faut baser une « Géographie sismique » sur une mesure exprimable en chiffres. Telle est la double question à traiter successivement ici: sismicité et description sismique du globe.

On va les exposer pour ainsi dire simultanément.

La première chose à faire et en cela la sismologie ne diffère aucunement des autres sciences naturelles on expérimentales, est de se munir d'un très grand nombre de bonnes observations. Il faut donc établir un vaste catalogue sismique ou de tremblements de terre, embrassant la totalité de la surface du globe. En science tout vient à son heure. C'est seulement à notre époque que le développement intensif de la civilisation dans les pays naguère barbares, la création de foyers scientifiques dans les régions les plus éloignées de la vieille Europe, la diffusion de l'instruction sur de vastes surfaces encore « terra incognita », il y a peu d'années, le progrès des publications scientifiques, la facilité des communications et des informations internationales par la vapeur et l'électricité, la création d'observatoires et de laboratoires de tout genre et particulièrement géodynamiques, l'invention et l'emploi d'instruments enrégistreurs spéciaux pour l'ob-



[illegible] des tremblements de terre, sismoscopes, sismomètres et sismographes, l'établissement de sociétés sismologiques actives, [illegible] avec la quelle l'homme sur presque tous les points du globe se livre aux recherches scientifiques, c'est seulement à notre époque que toutes ces causes ont rendu possible la formation d'un catalogue unique répondant au but rêvé, et laissant loin derrière eux ceux cependant bien remarquables pour leur temps, des Von [illegible] Mallet, Perrey, Fuchs, pour ne parler que de ceux embrassant [illegible] l'univers. Par un travail assidu de près de 20 années on a pu réunir antérieurement au 1er janvier 1900 131292 séismes distincts individuellement, et c'est avec cette masse de documents que l'on s'est permis d'aborder le problème de la description sismique du globe.

Il serait peu intéressant de parler de ce travail de compilation, la seule difficulté ayant consisté à bien séparer les phénomènes les uns des autres, de manière à ne compter chacun d'eux qu'une seule fois; et il est évident que pour y arriver et les classer il a fallu d'adopter le système des fiches, qui rend tant de services en bibliographie. La surface terrestre a été divisée en 50 grandes régions géographiques comprenant 451 sous-régions sismiques. Pour chacune de celles-ci on a réuni les fiches donnant chronologiquement avec toutes les indications nécessaires de temps, de lieux, de sources etca, l'histoire détaillée de chaque fait observé, qui acquiert ainsi une sorte d'individualité. De là résulte le tableau d'ensemble donné plus loin.

Avec la simple colonne des totaux de séismes par régions ce tableau donnerait une idée approximative de leur fréquence en chacune d'elles, si elles étaient comparables quant au nombre et à l'exactitude des documents, et si les périodes de temps pendant lesquelles les tremblements de terre y ont été observés étaient les mêmes. Aucune de ces conditions n'est remplie. En cet état la description sismique du globe n'aurait pas beaucoup plus de valeur que celles de Mallet ou d'O'Reilly. Le premier de ces sismologues manquait de documents, ce qui n'a rien d'étonnant pour son temps; le second dans son essai d'une telle description pour l'Europe et les pays adjacents s'est contenté d'énumérer les séismes ressentis dans un grand nombre de localités, de sorte que beaucoup de faits y sont répétés un grand nombre de fois, sans qu'il y ait possibilité de séparer ceux qui y ont eu ou non leur épicentre.

On est ainsi amené par la force des choses à déduire des docu-

ments et pour chaque région une mesure de son instabilité ou de sa stabilité, et que l'auteur a depuis longtemps nommée sa « sismicité », nom qui paraît bien approprié à l'élément dont il s'agit.

Or il est évident que l'importance des phénomènes sismiques en un pays s'y manifeste par deux facteurs simultanés et concomitants: le nombre et l'intensité des tremblements de terre qui s'y produisent.

Le nombre est facile à connaître. Il suffit que dans le pays considéré un ou mieux plusieurs observateurs se soient appliqués pendant un certain nombre d'années à noter, discuter et publier toutes les secousses qui y ont été ressenties. Mais les séismes ne se présentent pas, comme d'autres phénomènes naturels, les pluies par exemple, avec une allure périodique plus ou moins régulière en un point donné. Tantôt il tremble fréquemment à des intervalles plus ou moins resserrés, tantôt des séries de chocs excessivement nombreux pendant un temps court ou long, sont séparées par des intervalles de repos absolu ou de simple rémittence. Entre ces cas extrêmes on rencontre toutes les combinaisons intermédiaires possibles. On conçoit donc que pour avoir une idée tant soit peu approchée de la réelle fréquence annuelle moyenne il faille disposer d'un très grand nombre d'années d'observations, condition encore trop rarement remplie. Avec un nombre d'années trop faible on déduira une valeur trop forte pour cette fréquence, si l'on est précisément tombé sur une de ces périodes riches en secousses, ou inversement une valeur trop faible si l'on a eu affaire à une période d'apaisement entre les paroxysmes. Plus le nombre d'années d'observation sera grand, plus l'approximation sera satisfaisante. On peut admettre qu'il serait désirable d'avoir au moins 50 années d'observations, chiffre bien rarement atteint. Dans les autres cas il faudra éliminer du calcul de la fréquence les séries paroxysmales de courte durée. Alors on obtiendra, il est vrai, une valeur erronée par défaut, mais plus approchée qu'elle ne l'aurait été par excès en tenant compte des secousses faisant partie des paroxysmes. Encore y-a-t'il là prise à un certain arbitraire, pour décider que telle période doit être considérée comme anormale ou non.

Une autre considération intervient quant à la mesure de la fréquence, celle de la valeur intrinsèque, ou du poids des observations. Les documents sismiques se divisent en effet nettement en trois catégories. Ils peuvent résulter de travaux historiques, de recherches géologiques, géographiques, météorologiques ou autres, de relations de voyages, etca, tous documents pour lesquels les tremble-

ments de terre n'étant pas le fait, ne sont mentionnés que par hasard, par curiosité, ou quand ils ont été fort importants. [illegible] ceux relatés par les journaux. De là se déduit une fréquence dénommée « historique », très au dessous de la réalité.

Ou bien dans le pays dont il s'agit un observateur s'est pendant un certain nombre d'années astreint à noter les secousses ressenties en faisant appel à toutes sortes de modes d'information, correspondants, presse locale, etc. Si plusieurs observateurs ont uni leurs efforts, et mieux encore fondé une association sismologique, on aura au bout d'un certain nombre d'années une valeur très approchée de la fréquence réelle des séismes, mais limitée à la perception par les sens de l'homme, c'est-à-dire des macroséismes. Ce sera la fréquence « sismologique ».

Si enfin le pays en question possède un certain nombre d'observatoires spéciaux, publics ou privés, pourvus d'instruments avertisseurs, ou mieux enrégistreurs des vibrations du sol, on en déduira la fréquence des macroséismes et des microséismes à la fois, ceux-ci jusqu'à la plus petite intensité capable d'actionner les appareils. Ce serait, semble-t-il à priori, la meilleure manière d'obtenir la fréquence annuelle moyenne vraie. Il se trouve cependant qu'il n'en est rien. En effet les sismographes ont atteint ces dernières années une telle sensibilité, qu'ils enrégistrent non seulement les vibrations terrestres locales dûes à des causes sismiques, mais encore des microséismes attribuables à l'activité humaine (travaux de mines, roulements de voitures ou de trains, cela surtout au voisinage des grandes villes, où précisément sont le plus souvent installés ces observatoires géodynamiques), ceux résultant des causes naturelles externes signalées plus haut, mais non sismiques, et encore ceux produits par des tremblements de terre lointains, dont les vibrations, on l'a démontré, affectent souvent d'immenses étendues, et même parfois la totalité de l'écorce terrestre. Il est difficile, sinon impossible dans la plupart des cas, de toujours distinguer exactement dans cette masse de vibrations celles qui correspondent uniquement à de véritables séismes locaux, et ce sont cependant les seules dont il soit besoin. On ne peut guère actuellement séparer que les microséismes dûs à des macroséismes d'origine lointaine. Par consequent les observations au moyen d'instruments sont sujettes à donner pour la fréqence annuelle moyenne un chiffre notablement trop fort. Cette fréquence dénommée « sismographique », malgré son apparence de perfection, ne vaut donc pas la fréquence sismologique, du moins pour le but spécial de ce

travail, quoique celle-ci néglige les microséismes vrais, s'en tenant seulement aux macroséismes.

En définitive pour la recherche des caractères différentiels des régions stables ou instables, il faut avoir la fréquence annuelle moyenne sismologique, l'historique étant trop erronnée par défaut, et la sismographique l'étant trop par excès. D'ailleurs les séries d'observations sismologiques étant actuellement de beaucoup les plus nombreuses, c'est un motif de plus pour les préférer.

Or la nature des documents dont on dispose détermine seule l'espèce de fréquence, historique, sismologique ou sismographique, qu'on en peut déduire, et comme il faut évidemment un mode uniforme d'appréciation pour que les résultats soient comparables, il a fallu trouver un moyen de s'affranchir de cette difficulté. Heureusement pour un assez grand nombre de régions, (93), les documents ont permis pour des périodes différentes de temps, de déterminer deux ou même trois des fréquences d'espèce différente. On a donc pu en déduire un rapport moyen entre les trois modes d'observation pris deux à deux, et par suite dans tous les cas ramener par le calcul cette mesure à celle de la fréquence sismologique, lorsque celle-ci n'étant pas connue directement, comme cela se présente souvent, on possède néanmoins l'une des fréquences historique ou sismographique, et quelquefois même ces deux dernières à la fois. On se sert pour cela de formules empiriques, résultant des 93 équations de condition mentionnées plus haut. Il en sera question plus loin

Mais pour juger de l'importance des phénomènes sismiques dans un pays, il ne suffit pas d'en connaître plus ou moins exactement la fréquence annuelle sismologique moyenne, il faut aussi tenir compte du degré d'intensité qu'ils y atteignent. Théoriquement il faudrait connaître l'intensité de chaque séisme et faire entrer cet élément dans les calculs. Malheureusement l'intensité vraie, de quelque manière mécanique qu'on la définisse, est à peu près impossible à déterminer.

On a bien, il est vrai, des échelles d'intensité, basées sur les effets produits tant sur les sens de l'homme que sur les objets matériels, sol ou constructions. La plus généralement employée est celle connue sous le nom de Rossi-Forel, des deux savants qui l'ont combinée. On l'a critiquée comme trop subdivisée pour les intensités faibles, et pas assez pour les intensités fortes. Les sismologues italiens lui préfèrent actuellement celle de Mercalli.

En théorie ces échelles ne sont pas à l'abri d'une objection grave: leurs degrés de I à X sont arbitraires, et n'ont de l'un à l'autre aucun rapport susceptible d'être évalué numériquement, car ils ne découlent d'aucune relation ou fonction de mécanique rationnelle. Ces échelles ne remplissent donc pas les conditions essentielles d'une mesure, qui devrait satisfaire à la continuité, et n'ont par suite qu'un caractère purement conventionnel.

Rempliraient-elles d'ailleurs les conditions requises, que ces échelles ne pourraient servir à représenter l'intensité réelle d'un séisme donné, mais seulement celle de la force vive manifestée à la surface terrestre, au centre de l'aire ébranlée, ou épicentre, c'est-à-dire une quantité qui peut être la même pour des séismes d'intensités très différentes, ou bien très différente pour des séismes de même intensité, suivant la profondeur du centre d'ébraulement, ou hypocentre, élément qui modifie dans de grandes proportions les effets mécaniques observables seulement à la surface extérieure, et qui très difficile à évaluer, est le plus souvent inconnu. En outre les effets à la surface dépendent dans une certaine mesure de la nature et de la disposition des couches superficielles ou sous-jacentes, et sourtout de leur état d'agrégation.

Quel renseignement tirer cependant de l'étendue de l'aire ébranlée, quant à l'intensité absolue? Supposant l'écorce terrestre homogène autour du foyer d'ébranlement, on peut concevoir autour de ce point une sphère (ou un volume plus complexe dans le cas de l'hétérogénéité), telle que, l'intensité du mouvement communiqué aux particules terrestres diminuant avec la distance, au delà de la surface de cette sphère les sens de l'homme ne perçoivent plus rien. Le rayon de cette sphère, macrosismique pourrait-on l'appeler, serait dans le cas de l'homogénéité une mesure très rationnelle de l'intensité. Or suivant la profondeur de l'hypocentre le petit cercle découpé par cette sphère sur la surface terrestre, c'est-à-dire l'aire ébranlée, sera d'une plus ou moins grande étendue. Cette aire ne sera donc pas pour un séisme donné la mesure de son intensité. Mais la moyenne de ces aires donnerait pour un très grand nombre de séismes et d'épicentres dans une région déterminée une mesure de l'intensité moyenne, car les sphères macrosismiques correspondant aux divers séismes seront coupées par la surface terrestre dans toutes les positions possibles entre le centre et l'extrémité supérieure de leur rayon vertical; c'est ce qui a été montré plus en détail par l'auteur dans un mémoire particulier (Relation entre la fréquence des tremblements

de terre et leur intensité; Boll. Soc. Sism. ital. III. 9). La difficulté de la mesure de l'intensité vraie d'un séisme déterminé reste donc liée à celle de la détermination de la profondeur du centre d'ébranlement, ou de celle du rayon de la sphère macrosismique.

Dans le même mémoire on a montré au moyen de 8331 secousses observées au Japon de 1885 à 1892 et pour 8113 desquelles on a pu mesurer l'aire d'ébranlement macrosismique, que l'intensité moyenne estimée par la moyenne des aires, varie pour une région particulière donnée dans le même sens que la fréquence. En d'autres termes, là où il tremble souvent les secousses ont une extension moyenne plus grande, ou ce qui revient au même, il y tremble plus fort; réciproquement et inversement.

La fréquence et l'intensité variant donc grosso modo dans le même sens, il s'en suit, résultat extrêmement intéressant, que pour exprimer l'importance des séismes dans un pays on peut ne tenir compte que de leur fréquence moyenne. Cela seul permet d'arriver à la mesure numérique cherchée.

Cependant la détermination de la fréquence moyenne pour une région ne va pas sans quelques difficultés nouvelles. Quand il s'agit d'observations historiques on s'aperçoit que la plupart des tremblements de terre sont signalés pour un très petit nombre de villes, toujours importantes, et souvent pour une seule d'entre elles. Or l'instabilité n'est pas un monopole des capitales, ni des grands centres habités. C'est que les séismes de faible surface d'ébranlement étant les plus nombreux, on verra plus loin dans quelle énorme proportion, échappent pour la plupart à l'observation historique, et ne sont signalés dans les documents de cet ordre que les séismes d'intensité ou d'aire assez grande pour se propager jusqu'à ces villes. Quant aux observations sismographiques, de grands centres possédant seuls, jusqu'à présent du moins, des observatoires ad hoc, on voit que les observations sismologiques restent encore les meilleures à ce point de vue. Il faut donc à tout prix éliminer l'influence de l'accaparement des secousses au profit des grandes villes, alors qu'elles émanent réellement d'ailleurs. On y arrive par l'emploi exclusif des observations sismologiques.

On possède des séries plus ou moins longues de cette espèce pour de nombreux pays. Le meilleur moyen de les organiser est à coup sur celui employé au Japon. L'on y a créé des cartes postales spéciales donnant un questionnaire à remplir, et déposées dans chaque ville ou village à l'école, à la mairie ou à la poste. Advienne un

tremblement de terre, une personne quelconque se fait donner une de ces cartes, en remplit les indications, et elle est expédiée sans frais à un bureau centralisateur à Tokyo. Toutes ces informations variant en nombre d'une à plusieurs centaines suivant l'extension et l'intensité du phénomène, y sont discutées et reportées sur une carte. La population étant fort dense dans l'Empire du Soleil Levant (sauf dans l'île d'yeso et l'archipel des Kouriles), et de plus s'intéressant beaucoup à ces phénomènes dont elle a tant à souffrir, on peut être certain que moins que partout ailleurs un tremblement de terre perceptible à l'homme n'échappera à l'observation.

Dans un pays comme la Suisse, où la presse extrêmement développée fait, sous l'impulsion de la société sismologique, tous ses efforts pour recevoir les informations sismiques et les publier, un résultat analogue, quoique de moindre exactitude, est obtenu par le dépouillement des périodiques.

Le gouvernement grec a imposé à ses télégraphistes et instituteurs l'observation des séismes.

Les Jésuites des Philippines ont établi un semblable réseau d'informations au moyen de leurs missions qui couvrent l'archipel, et de même les Hollandais dans leurs colonies de la Malaisie par l'intermédiaire de leurs nombreux fonctionnaires et officiers. Les sociétés sismologiques d'Italie et du Wurtemberg, les sociétés géologiques de Stockholm et de Christiania, l'académie des sciences de Vienne, les observatoires météorologiques de Constantinople, de Mexico, de Mount Hamilton (Californie), de Santiago (Chile), etca, ont établi des systèmes analogues.

A un moindre degré d'exactitude se placent enfin les séries sismologiques d'observateurs indépendants, soit qu'ils opèrent isolément dans leur résidence, soit qu'ils centralisent et publient les observations de leur pays. On en possède un grand nombre, mais de valeurs inégales.

Quoiqu'il en soit, comme l'aire d'ébranlement d'un séisme est généralement très faible, on est certain de pouvoir préciser et localiser l'épicentre, ou du moins de ne pas s'en éloigner beaucoup par l'indication de la localité, souvent unique, pour laquelle le tremblement a été signalé, et pour les grands séismes relativement rares, on construit approximativement l'épicentre en s'aidant des isoséistes.

En définitive l'application de la méthode repose principalement sur l'énorme prédominance des petites secousses, et par suite sur la probabilité qu'on a de ne pas trop s'écarter du centre d'ébranlement

en attribuant chaque petit séisme à l'unique localité pour laquelle il a été signalé, et en construisant celui des autres. On doit remarquer que l'approximation a d'autant plus de chances d'être grande dans le premier cas que cette localité est de moindre importance géographique. Par conséquent pour les séries d'observations sismologiques les erreurs seront négligeables et n'altéreront pas sensiblement l'allure générale des cartes des régions stables ou instables. Il faut donc de toute nécessité établir irréfutablement que les petites secousses sont infiniment plus nombreuses que les autres. On y peut arriver de trois manières différentes, mais parfaitement concordantes entre elles.

Que l'on prenne d'abord les trois modes d'observation, historique, sismographique et sismologique, puis que l'on suppute depuis le commencement du siècle et par années jusqu'en 1898 les nombres de secousses signalées. On obtient un graphique très suggestif. A partir de 1855 la courbe des observations historiques reste une droite horizontale: cela signifie que ces observations donnent dès lors et d'une manière constante la même proportion de fortes secousses, probablement à peu près toutes celles qui sont importantes. A partir de 1845 les observations sismologiques croissent très rapidement et d'une manière régulière. Cela tient à ce que de nombreuses régions atteintes par le flot montant de la civilisation apportent de plus en plus l'appoint de leurs informations. Enfin les observations sismographiques croissent rapidement de 1841 à 1872; c'est la période d'essais et de tatonnements des instruments; puis elles prennent de 1873 à 1885 un essor extraordinaire correspondant à l'établissement en Italie de nombreux observatoires géodynamiques, et enfin ne cessent de croître, mais un peu moins vite. Or il est évident à priori que les documents historiques sont très insuffisants, que les observations sismologiques encore imparfaites ne s'appliquent qu'à un trop petit nombre de régions, et laissent encore échapper beaucoup de petites secousses et pas mal de moyennes, et qu'enfin les observations sismographiques, théoriquement parfaites sauf l'introduction des pseudoséismes, n'existent encore que pour une trop infime portion de la surface terrestre.

La courbe des nombres de séismes classés d'après les intensités de l'échelle Rossi-Forel pour 14350 observés en Italie de 1873 à 1885 conduit exactement aux mêmes conclusions, et a l'avantage de donner de cette prédominance des petites secousses une représentation plus tangible.

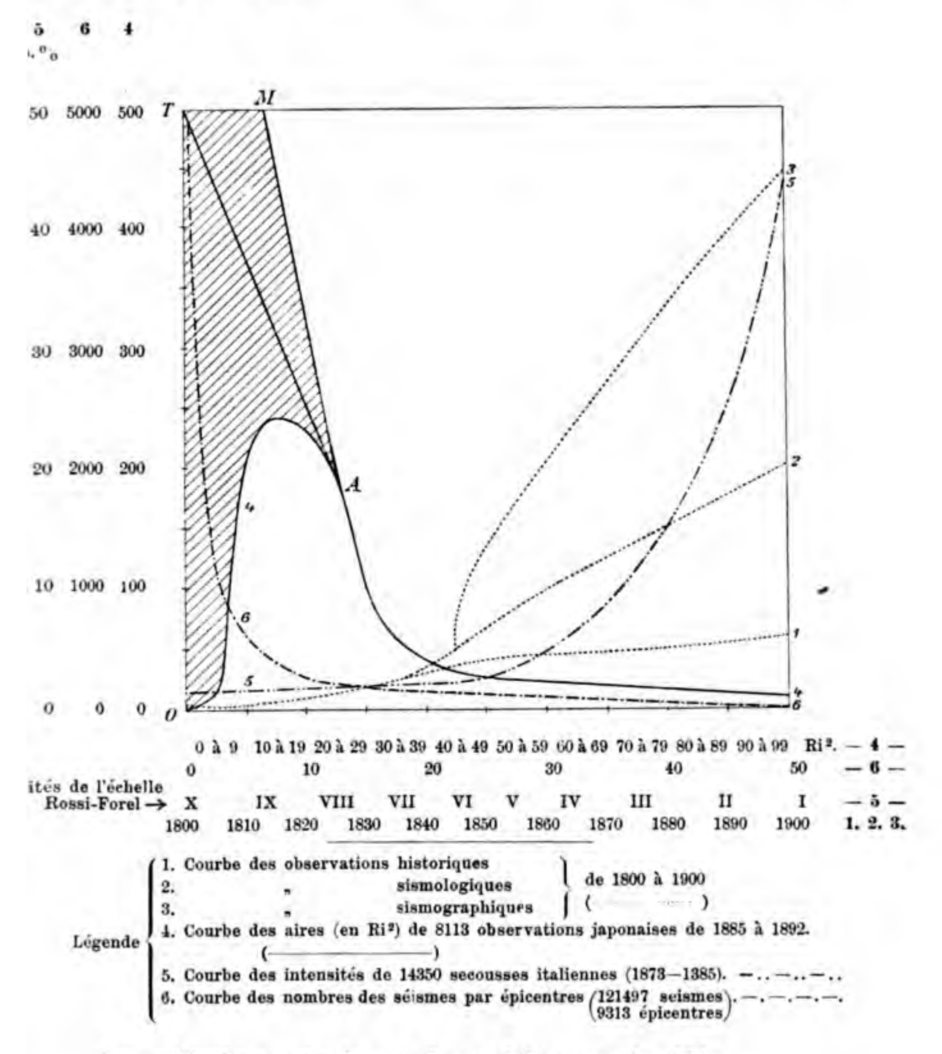


Enfin les 8113 secousses japonaises d'aire connue conduisent encore au même résultat. On a divisé l'axe des aires en intervalles de 0 à 9, 10 à 19, 20 à 29 .... Ri carrés (1 Ri^2 = 15 $Km.^2$, 4248, et l'on a porté sur les ordonnées des milieux de ces intervalles la moyenne des nombres de séismes correspondant aux 10 ordonnées de chacun d'eux. Cette précaution a permis de régulariser la courbe en en faisant disparaître les folles oscillations d'une ordonnée à la voisine, sans altérer son allure générale. Comme précédemment la courbe est asymptotique à l'axe des abcisses (aires), mais présente un maximum pour l'intervalle 10—19. Cela tient à ce qu'au dessous d'une surface ébranlée de 15 Ri^2 beaucoup de secousses échappent à l'observation, soit qu'en raison de leur faiblesse même, qui les place sur la limite commune des macroséismes et des microséismes, elles nécessitent de la part de l'homme une attention plus particulièrement soutenue, mais non toujours réalisée surtout la nuit, soit que beaucoup des aires ébranlées soient assez petites pour tomber complètement en dehors des centres habités sans affecter aucun d'eux, quoiqu'en général ils soient assez rapprochés au Japon. On est donc en droit de compléter la courbe par l'arc AM (voir la figure) légèrement extérieur à la tangente AT. La surface ombrée OAM représente la proportion des petites secousses qui échappent encore au si ingénieux système japonais d'informations sismologiques. Cette proportion de secousses perdues serait d'environ 31,42 % pour l'ensemble du territoire. Ces secousses seraient rattrapées par un dense réseau d'observatoires géodynamiques si on pouvait les séparer des autres vibrations, car macroséismes à leur origine ou épicentre, elles ne sont plus que des microséismes à peu de distance.

Le graphique des observations au XIXème siècle appelle une remarque intéressante, c'est que la recherche de l'augmentation ou de la diminution séculaire de l'instabilité d'une région particulière est encore illusoire. C'est cependant ce qu'on a tenté de faire pour la Suisse, et pour Kiôtô, l'antique capitale du Japon. Tout ce qu'on peut dire à cet égard est que l'adage ancien « là où il a tremblé, il tremblera » est certainement vrai. En d'autres termes les causes d'instabilité en un point, quelque irrégulières que soient leurs manifestations, sont historiquement constantes.

En résumé les petites secousses sont tellement plus nombreuses que les autres, que, grâce au nombre considérable qu'on en a pu recueillir, l'ignorance si fréquente de l'épicentre exact de chacune d'elles ne modifiera pas l'aspect des cartes sismiques, surtout pour

les pays dont l'instabilité est assez prononcée. Leur facies restera sensiblement le même.



La méthode employée est donc pleinement justifiée.

Ceci posé, prenant la carte du pays que l'on étudie, on représente chacune des localités réputées épicentres par des points, dont le diamètre est à une échelle conventionnelle en rapport avec le nombre de séismes correspondants. La seule précaution à prendre, mais essentielle, est de ne faire figurer un fait qu'une seule fois.

Pour l'ensemble du catalogue on a construit (voir la figur
graphique des nombres de localités à 1, 2, 3, 4, ... séis
réputés y avoir eu leur épicentre. La courbe est comme on de
s'y attendre asymptotique aux deux axes, ce qui vient corrobore
résultats donnés par les précédentes, car les localités, pour lesqu
on connait de graves séismes, sont en général riches en secou
C'est la vérification expérimentale de l'excessive prédominance
petites secousses, fait fondamental qui trouve là sa troisième co
mation annoncée.

Une fois terminée la carte sismique de la façon indiquée
haut, on s'aperçoit que les centres d'ébranlement, au moins pou
pays où les séismes sont fréquents ou simplement assez fréquent
se répartissent pas par hasard: ils se groupent plus ou moins
lièrement, par paquets, pourrait-on dire. De la disposition d
groupes par rapport aux traits géographiques ou topographiques
déduit une delimitation plus ou moins nette suivant les cas
qu'on appelle des « Régions sismiques ». Il y a cependant l
certaine part d'arbitraire à peu près impossible à éviter, d'a
plus que ces diverses régions diffèrent grandement par leur ét
par la valeur des documents qui les concernent, et par la d
desdits groupes.

On peut maintenant aborder la définition de la « sismicité »
région sismique, c'est-à-dire de la mesure numérique simulta
la fréquence et de l'intensité des secousses qui s'y proc
moyennement, puisque l'on peut s'en tenir à la connaissance
fréquence seule, l'intensité variant dans le même sens.

Si dans une région de surface A, exprimée en Kilomètres
on a en p années observé n séismes, la fréquence annuelle moyen
$i = \frac{n}{p} \cdot \frac{i}{A}$ sera le nombre annuel moyen de séismes par Ki
carré de la région, et $\sqrt{\frac{A}{i}}$ sera le côté des carrés en lesq
pourrait décomposer la surface A de telle sorte qu'il y tren
une fois par an, si les tremblements de terre s'y produisai
formément et à des intervalles réguliers. C'est ce nombr
prend pour mesure de la sismicité, de sorte qu'une région est
plus instable ou stable que sa sismicité est exprimés par un
plus petit ou plus grand.

Cette mesure de la sismicité est rationnelle. Elle varie
ques Kilomètres à plusieurs centaines de Kilomètres.

Dans une certaine mesure la sismicité ainsi calculée dépend pratiquement dela grandeur de la surface A. En effet si la région est limitée à un groupe serré de localités instables, la surface A est petite, ce qui pour une même valeur de i tend à diminuer le nombre représentant la sismicité; tandis qu'un effet inverse se produit si prenant plusieurs groupes de points instables pour former une région sismique, on introduit ainsi dans la surface A des espaces intermédiaires sinon stables, du moins pauvres en centres d'ébranlement, et dont la surface interviendra dans le calcul de la sismicité, pour augmenter sa valeur, et par suite en apparence diminuer son instabilité. C'est pour cela qu'on évite d'appliquer la méthode aux petites iles.

Quant aux archipels il est clair que la surface A doit comprendre les espaces immergés séparant les îles qui les composent, et de même aussi pour les régions côtières les surfaces maritimes des golfes qui entrent profondément dans les terres.

Cette mesure de la sismicité se prête à une représentation géométrique intéressante en recouvrant les cartes de hâchures dont l'équidistance soit précisément à l'échelle de la carte la sismicité exprimée en Kilomètres. On aura ainsi divisé la surface de la région, sauf les erreurs dûes aux irrégularités de ses contours, en autant de carrés qu'il y tremble de fois par an, en d'autres termes on peut supposer qu'il tremble une fois par an dans chacun de ces carrés élémentaires. En pratique l'échelle des cartes permet rarement l'emploi de cette équidistance rationnelle. Si d'ailleurs la fréquence annuelle est plus petite que 1, c'est-à-dire s'il tremble moins d'une fois par an dans la région, cette représentation devient illusoire, l'équidistance devenant plus grande que le côté du carré équivalent à la surface de la région. Le carré élémentaire englobant la région, il n'y aurait plus de hâchures. Il vaut donc mieux en général choisir des équidistances arbitraires, destinées seulement à faire sauter aux yeux sur la carte les différences de stabilité des régions voisines.

On va chercher maintenant l'influence de la nature des observations sur la mesure de la sismicité. On distinguera les sismicités S et les fréquences i par les lettres h, l ou g, suivont qu'elles dériveront d'observations historiques, sismologiques ou sismographiques. Dans chaque cas on aura calculé $i = \frac{n}{p}$ en prenant un nombre d'années p le plus grand possible, ce qui conduit souvent à prendre plusieurs périodes différentes non consécutives, et à calculer la moyenne des

valeurs successives de i. On devra toutefois faire bien attention de ne pas confondre une réelle interruption des séismes avec une simple lacune dans les observations, car il faudrait dans un cas faire entrer les années sans secousses dans le calcul, et dans l'autre non. La question est quelquefois difficile à trancher.

Or pour un certain nombre de régions l'on ne dispose que d'observations historiques ou sismographiques, dont il faut cependant pouvoir déduire la sismicité sismologique, puisque c'est à elle qu'on se réfère pour comparer les régions entre elles. Heureusement l'on possède pour 93 régions différentes deux des trois fréquences annuelles ih, il ou ig, ce qui a permis de calculer de bonnes moyennes des rapports de ces trois nombres deux à deux, et l'on a trouvé:

$$\frac{il}{ih} = 4,26$$

$$\frac{ig}{ih} = 26,59$$

$$\frac{ig}{il} = 6,44$$

Ce sont, il faut bien le remarquer, des valeurs expérimentales, dont l'exactitude relative est vérifiée par ce fait que la valeur de $\frac{il}{ih}$ calculée au moyen des deux valeurs moyennes précédentes observées de $\frac{ig}{ih}$ et de $\frac{ig}{il}$ est égale à 4,18, ne différant que de 0,08 de la valeur observée 4,26 de ce même rapport. Cette vérification à postériori à moins de 8 % est importante, car elle montre que le nombre 93 des cas employés à déterminer ces trois rapports par l'observation a été suffisant pour s'approcher beaucoup des rapports réels moyens des fréquences annuelles moyennes suivant la nature des observations dont on les a déduites.

De là se tirent les formules empiriques suivantes:

$$\log . Sl = \log . Sh. - 0,3030384 = \log . Sg + 0,4043049$$

permettant de calculer la sismicité sismologique Sl, quand on ne disposera que d'observations historiques ou sismographiques, et cela au moins au dixième près dans l'ensemble des cas.

La sismicité sismologique sera dans tous les cas entachée d'une erreur par défaut d'au moins 31,42 %, qui est celle des observations sismologiques japonaises. Cela n'a pas d'importance, car ce qu'il importe de connaître dans la recherche actuelle, ce ne sont pas les sismicités absolues, mais bien seulement leurs rapports permettant

d'arriver à la découverte des caractères différentiels des régions plus ou moins instables. Ainsi donc en pratique tous les Sl étant erronés par défaut dans la même proportion, le classement des régions par ordre d'instabilité ne sera pas altéré.

Le graphique ou le tableau des intensités des secousses italiennes permettent de se rendre compte à partir de quelles petites intensités les documents sont incomplets, car il est à priori vraisemblable que les séries historiques et sismologiques négligent surtout les faibles secousses. On a vu qu'en définitive les observations historiques ou sismologiques ne relatent respectivement que 16,41 et 68,57 °/o des macroséismes Si maintenant on répartit ces pour cent à partir de l'intensité X en descendant vers l'intensité I, on voit que les choses se passent comme si les observations historiques, relatant tous les séismes des intensités de X à V, laissaient perdre moitié environ de ceux de l'intensité IV et tous ceux des intensités III, II et I; tandis que les observations sismologiques signalant tous les séismes des intensités de X à II et 71,64 °/o de ceux de l'intensité I ne laissaient perdre que le reste de ceux de l'intensité I. Cela donne une idée intéressante de ce que les documents donnent réellement en moyenne.

On est donc en droit de penser que malgré l'imperfection des documents, même sismologiques, la méthode employée peut conduire à un classement suffisamment exact des diverses régions du globe d'après leur instabilité. La découverte des caractères différentiels des régions stables et instables s'en suivra de plano par un long travail de détail. C'est ce qui a déjà été fait par l'auteur pour le relief du sol (Relations entre le relief et la sismicité; Archives des sc. phys. et nat. de Génève. Août 1895), et ce qu'il se propose de faire pour les relations plus cachées, mais certaines, de l'instabilité suivant la nature géologique du terrain.

Les monographies sismiques déjà publiées embrassent la plus grande partie du globe. Il n'y manque plus que la Grèce et les Océans, qui paraîtront plus tard. Elles sont toutes perfectibles par l'apport de documents nouveaux. C'est ainsi que le Mexique vient d'être révisé. Les États scandinaves, les Alpes (Suisses et Autrichiennes), les Philippines sont à point pour l'être. Ces monographies sont ensuite destinées à faire objet d'un travail d'ensemble, qui pourra être considéré comme « un essai de géographie sismique », le mot « essai » étant largement justifié par le soin avec lequel on a mis en évidence dans ce travail la pauvreté relative des documents, ainsi que les causes d'erreurs. Mais cela empêche-t-il d'autres sciences naturelles

de progresser, la Paléontologie par exemple? En tout cas on ne p… faire plus en l'état actuel de la sismologie.

Heureusement sur l'initiative du regretté Rebeur-Paschwitz l'in… stitut sismologique de l'université de Strassbourg vient de jeter … bases d'une société sismologique internationale, et les observati… recueillies sur tout le globe seront publiées annuellement. Il fa… attendre beaucoup d'une aussi puissante organisation qui permet… au bout de quelques années de combler les nombreuses lacunes de … description sismique du globe, telle qu'elle a été conçue et exécut… par l'auteur au moyen des monographies mentionnées, et au… d'améliorer les déterminations des sismicités des nombreuses régi… pour lesquelles les nombres d'années d'observations ont été insuf… sants. Et aussi les sismicités sismologiques calculées, disparaîtr… remplacées par les valeurs observées directement.

Quoiqu'il en soit l'auteur a conscience d'avoir à ce point de v… d'une description sismique du globe tiré tout ce qu'il est possible d… documents existants. Plus tard seulement un semblable travail pourr… être autre chose qu'un essai.

Une carte sismologique du globe devrait compléter cette étud… On a dû y renoncer à cause de difficultés graphiques et d'éch… non encore résolues. Dans une certaine mesure le tableau de clas… ment des régions par ordre de sismicités décroissantes y supplée.

Tableau I.

Répartition par intensités de l'échelle Rossi-Florel de 14350 secous… italiennes observées de 1873 à 1885.

Intensités	X	IX	VIII	VII	VI	V	IV	III	II	I
%	1,19	1,49	1,81	2,15	2,67	3,72	6,53	12,03	24,61	[illegible]

Tableau II.

Répartition des aires d'ébranlement de 8113 séismes japonais, ex… primées en Ri carrés et en moyenne pour chacune des ordonnées d… intervalles considérés.

Intervalles	moyennes	Intervalles	moyennes
0 à 9	6,6	30 à 39	57,0
10 à 19	236,5	40 à 49	32,3
20 à 29	194,7	50 à 59	25,2

Intervalles	moyennes	Intervalles	moyennes
60 à 69	11,0	900 à 999	0,47
70 à 79	13,4	1000 à 1499	0,32
80 à 89	9,9	1500 à 1999	0,172
90 à 99	5,8	2000 à 2499	0,122
100 à 149	11,4	2500 à 2999	0,82
150 à 199	4,5	3000 à 3499	0,062
200 à 249	2,9	3500 à 3999	0,034
250 à 299	0,87	4000 à 4999	0,017
300 à 349	1,46	5000 à 5999	0,020
350 à 399	0,83	6000 à 6999	0,001
400 à 499	1,49	7000 à 7999	0,005
500 à 599	0,79	8000 à 8999	0,002
600 à 699	0,87	9000 à 9999	0,003
700 à 799	0,75	10000 à 15750	0,00017
800 à 899	0,64	15751 à 68716	0,000018

Tableau III.

Répartition des centres d'ébranlement par nombres de séismes correspondants.

nombres de séismes.	nombres d'épicentres	Intervalles de nombres de séismes	moyennes par ordonnées des intervalles
1	4798	11 à 20	50,0
2	1339	21 à 30	18,4
3	712	31 à 40	11,2
4	462	41 à 50	8,0
5	310	51 à 60	3,9
6	220	61 à 70	3,9
7	155	71 à 80	2,6
8	130	81 à 90	1,5
9	111	91 à 100	1,4
10	100	101 à 200	1,15
		201 à 300	0,38
		301 à 400	0,22
		401 à 500	0,12
		501 à 600	0,07
		601 à 700	0,07
		701 à 800	0,02
		801 à 900	0,02
		901 à 1000	0,06
		1001 à 2000	0,008
		2001 à 3000	0,002
		3001 à 4000	0,001
		4001 et au delà	0

Note. Ce tableau et la courbe correspondante s'appliquent à l'état du catalogue en 1898. On n'a pas jugé nécessaire de les recommencer. Cela n'aurait rien changé à leur allure.

Tableau IV.

Tableau récapitulatif par grandes divisions du globe.

Grandes divisions du globe	Sous divisions ou chapitres	Régions sismiques	fréquence annuelle moyenne			nombres de localités réputées épicentres	nombres de séismes
			historique	sismologique	sismographique		
Terres arctiques . . .	1	3	5,56			36	149
Europe	15	177	84,62	731,54	1206,34	5008	61717
Asie	10	102	101,82	631,83		2426	27562
Afrique	4	38	69,28			382	2855
Amérique du nord . .	7	54	67,43	279,67	217,77	1271	16598
Amerique du sud . .	4	23	21,16	143,64		310	8081
Océanie	8	54	0,45	268,83		1066	14330
			350,32	2055,51	1424,11		
Totaux . .	50	451		3829,94		10499	131292

Nota. On peut conclure de ce tableau qu'en moyenne on mentionne annuellement 3830 secousses de par le monde en l'état actuel (1900) des études sismologiques, soit une toutes les 2h 17'. Ce chiffre est bien au dessus de ce que l'on supposait autrefois, et il est d'ailleurs bien au dessous de la réalité, si l'on considère les immenses espaces encore non soumis à ces recherches.

L'écorce terrestre, en dépit de sa fixité apparente, est donc ici ou là en mouvement pour ainsi dire perpétuel.

Tableau V.

Régions sismiques classées par grandes divisions du globe
et
Données numériques relatives à leur sismicité.

1. Numéro des régions dans chaque grande division.
2. Noms des régions.
3. Nombres d'épicentres ou de localités réputées épicentres.
4. Nombres de séismes relatés pour la région.
5. Périodes d'observation.
6. Fréquence annuelle moyenne { h = historique. l = sismologique. g = sismographique.
7. Sismicité sismologique { calculée au moyen de la fréquence anuelle historique sh; observée sl; calculée au moyen de la fréquence annuelle sismogr. sg

a. Il n'a été tenu aucun compte des divisions politiques pour rattacher telle ou telle région sismique à tel ou tel chapitre. On ne s'est basé pour cela que sur des considérations d'ordre géographique ou sismique.

2	3	4	5	6			7		
				h	l	g	sh	sl	sg
Chapitre I. Terres Arctiques.									
Groenland	4	6							
Islande	31	140	1839—90	5,56			67		
Ile Jean Mayen	1	3							
Totaux	36	149		5,56					
Europe. Chap. II. Scandinavie.									
Suède septentrionale	42	116	1889—95		3,50			267,8	
Suède centrale	65	109	1888—96		3,88			192,7	
Suède méridionale	16	25	1893—97		3,80			108,4	
Ile de Bornholm	1	5							
Suède-séismes généraux ou mal déterminés	5	5							
Christiania	39	65	1886—95		2,50			177,4	
Côtes sud-occidentales de la Norvége	56	116	1886—95		5,70			106,5	
Trondhjem	14	19	1887—95		1,00			227,9	
Norrland (norvégien) et îles Loffoten	25	182	1819—29 1887—95		7,40			91,4	
Finmark et Lapland norvégiens	3	5	1887—95		0,57			327,2	
Norvége-séismes généraux ou mal déterminés	4	9							
Totaux	270	656			28,35				

1	2	3	4	5	6			7
					h	l	g	sh
	Chapitre III. Iles Britanniques.							
1	Iles Shettlands	2	5					
2	Ecosse du nord-est	5	11					
3	Canal Calédonien	27	54	1852—71	0,72			52
4	Perthshire	21	465	1852—90	0,64			35
5	Basse Ecosse	13	26	1886—89	1,25			31
6	Angleterre septentrionale et centrale	68	167	1833—73	1,63			44
7	Pays de Galles	18	32	1839—94	0,28			68
8	Cambridge	10	18	1848—71	0,22			86
9	Côtes anglais. de la Manche	53	138	1848—71	1,91			49
10	Irlande du sud-ouest	12	19	1852—80	0,31			65
	Séismes généraux ou mal déterminés	4	104					
	Totaux	233	1139		6,96			
	Chapitre IV. France. (Du Rhin au golfe de Gascogne.)							
1	Belgique	20	63	1846—79	0,54			77
2	Le nord	24	46	1857—74	0,27			167
3	Côtes franç. de la Manche et îles normandes	38	90	1842—91	1,00			84
4	Bretagne	23	43	1843—93	0,45			142
5	Vendée	50	133	1877—94	1,55			66
6	Le centre	35	57	1837—74	0,63			214
7	Moselle moyenne, Hardt et Luxembourg	10	21	1866—84	0,22			189
8	Lorraine et Pfalz	9	10					
9	Alsace	24	91	1835—59 1875—93 1895—97	0,79			50,5
10	Franche-Comté	38	134	1838—93	0,88			86
11	Dauphiné et Savoie	64	407	1842—93	2,48			47
12	Alpes et Provence	20	71	1857—89	1,00			73
13	Alpes maritimes	17	1032	1859—61 1866—68 1870—71			138,58	
14	Drôme, Vivarais et Vaucluse	37	173	1835—89	0,91			51
15	Chaîne des Puys d'Auvergne	21	70	1833—89	0,04			65
16	Les Cévennes	35	59	1837—94	0,52			188
17	Hautes et basses Pyrennées	54	222	1849—85	4,79			26
18	Le Sud-ouest	23	35	1847—75	0,48			215
	Séismes généraux ou mal déterminés	9	36					
	Totaux	551	2793		16,55		138,58	
	Chapitre V. La Péninsule Ibérique.							
1	Galice et Portugal	34	62	1841—89	0,76			173
2	Navarre et Pays basques	16	17	1885—91	1,43			50

	2	3	4	5	6			7		
					h	l	g	sh	sl	sg
	Catalogne	23	44	1845—62 1883—87	1,35			66		
	Espagne centrale	27	77	1841—61 1885—92	0,90			97		
	Embouchure du Tage	13	203	1758—00 1838—91	0,89			55		
	Andalousie intérieure	19	97	1834—88	0,97			102		
	Malaga	23	658	1834-88	2,46			31		
	Almeria	13	441	1851—65 1882—93	1,53			33		
	Valence et Murcie	29	1057	1857—65		12,77			38	
	Totaux	197	2656		10,29	12,77				
	Chapitre VI. Suisse.									
	Le Jura suisse	47	338	1650—53 1876—97		4,65			30,0	
	La plaine suisse	85	407	1876—97		7,09			34,4	
	Les lacs suisses	104	952	1879—97		6,26			43,1	
	Côte nord du lac Léman ou de Genève	27	217	1876—97		6,45			12,0	
	Bas-Valais	24	115	1879—97		3,58			25,3	
	Haut-Valais	32	1401	1856—71 1880—97		3,14			13,9	
	Les Grisons	35	119	1879—97		4,78			36,7	
	Engadine	37	160	1879—97		5,05			21,6	
	Séismes généraux ou mal déterminés	10	186							
	Totaux	401	3895			41,00				
	Chapitre VII. Du Rhin à la Vistule.									
1	Hollande	15	31	1824—54	0,48			84		
2	Jutland	16	25	1841—89	0,38			89		
3	Côtes de la mer du nord et de la Baltique de Dortmund à Dantzig	33	48							
4	Westphalie	29	139	1846—83	1,49			40		
5	Taunus et Hundsrück, ou Nassau	32	107	1841—90	1,56			34		
6	Thuringe	10	18	1827—87	0,18			128		
7	Harz	18	40	1823—85	0,54			74		
8	Erzgebirge et Fichtelgebirge	80	605	1850—84	1,43			47		
9	Riesengebirge	7	13	1878—83	1,00			24		
10	Silésie	8	22	1875—78	1,25			42		
11	Bade	43	162	1888—97		2,00			66,9	
12	Odenwald	43	700	1875—83	1,79			26		
13	Wurtemberg et Souabe	68	189	1867—95		2,44			114,4	
14	Augsbourg	5	27	1756—78 1819—42	0,13			161		
15	Bavière orientale	11	15	1852—69	0,28			218		
16	Bohême	12	31	1854—71	1,85			78		

1	2	3	4	5	6			7	
					h	l	g	sh	s.
17	Plankerswald	10	77	1874—77	1,50			30	
	Séismes généraux ou mal déterminés	21	77						
	Totaux. . .	457	2326		13,86	4,44			
	Chapitre VIII. Alpes orientales.								
1	Vintschgau	8	29	1874—79, 1896—98		2,11			29.1
2	Vorarlberg	16	35	1897—98		5,50			5.7
3	Tirol	36	185	1896—98		14,66			26.7
4	Salzbourg	16	72	1897—99		6,00			42.4
5	Autriche propement dite .	45	128	1896—98		7,66			17.[illegible]
6	Trentin	24	97	1873—91, 1896—98		3,68			43.9
7	Pusterthal	11	19	1896—98		1,66			14.8
8	Carinthie.	47	190	1896—98		9,00			3[illegible]
9	Murthal	22	73	1896—99		13,00			21.9
10	Mürzthal et Soemering. .	16	40	1898—99		2,00			26.2
11	Styrie	35	68	1896—98		7,00			33.4
12	Carniole	134	495	1895—98		120,00			10.[illegible]
13	Göritz	36	157	1896—98		44,33			9.1
14	Istrie	29	276	1897—98		12,50			31.[illegible]
	Séismes généraux ou mal déterminés	17	31						
	Totaux. . .	492	1995			249,10			
	Chapitre IX. Carpathes et moyen Danube.								
1	Raab	10	22	1838—76	0,41			123	
2	Sumégie	10	43	1874—83	1,80			59	
3	Bakony-wald	24	234	1849—70	2,77			32	
4	Moravie	6	9	1858—65	0,37			134	
5	Trencsin	8	173	1846—74	0,13			72	
6	Sohl	5	20	1854—69	0,87			21	
7	Abaujvar.	20	51	1851—70	1,09			71	
8	Marmaros	8	26	1856—60, 1867—83	1,14			17	
9	Altland	10	44	1851—86	0,81			56	
10	Jazygie	14	52	1863—72	5,30			18	
11	Torontal.	16	45	1852—87	0,97			52	
12	Banat.	14	95	1858—71, 1879—83	0,92			38	
13	Esclavonie	9	26	1854—67, 1876—84	0,98			51	
14	Croatie	15	240	1851—80	1,00			38	
	Séismes généraux ou mal déterminés	15	28						
	Totaux. . .	184	1108		18,55				

2	3	4	5	6 h	6 l	6 g	7 sh	7 sl	7 sg
Chapitre X. Italie continentale.									
Alpes Cottiennes	49	539	1873—93		7,95			26	
Piémont	17	298	1873—93		7,78			19	
Doria Baltea	20	72	1873—86		3,43			42	
Tessin italien	25	109	1887—93		3,57			36	
Tessin suisse	19	28	1877—82 1891—97		0,85			62,4	
Milanais	19	67	1873—93		0,95			93	
Du lac de Côme au lac de Garde	41	121	1887—93		6,14			42	
Vérone, sette et trece comuni	75	1386	1873—86			61,00			18
Bellune ou Alpes dolomitiques	35	376	1873—86			15,80			27
Frioul	24	226	1887—93		7,71			24	
Vénétie	23	464	1873—93			15,14			63
Pô inférieur	45	356	1873—93			8,38			102
Bolonais	64	2387	1873—87			82,35			23
Parmesan	40	358	1887—93			6,43			43
De la Serivia au Taro	20	189	1832—39 1840—55	4,09			19		
Du Tanaro à la Serivia	32	200	1887—93			5,85			71
Rivière du Ponant	18	383	1888—93			11,33			33
Rivière du Levant	18	399	1887—89			58,33			32
Totaux	584	7958		4,09	38,38	264,61			
Chapitre XI. Italie Péninsulaire.									
Alpes Apuanes	23	180	1873—86		0,64			68	
Toscane	95	1485	1873—93		21,19			18	
Archipel Toscan	1	1							
Littoral toscan	20	130	1875—81 1886—91		3,07			55	
Les lacs latins	22	186	1887—93			3,50			42
Ombrie	77	2407	1873—86			100,12			16
Les Marches	84	591	1873—87			21,40			35
Abruzze centrale ou Aquila	20	377	1884—93			21,30			47
Sabine	7	31	1884—97		1,14			53,3	
Albanese	30	6710	1873—87			388,78			4
Latium	59	777	1873—86			28,35			27
Molise et Campobasso	38	102	1873—91		2,57			54	
Capitanate et Monte Gargano	45	980	1885—92			12,16			33
Bénévent	29	149	1883—86			13,00			45
Vésuve et Campanie	29	1349	1859—87			35,62			19
Archipel Napolitain	9	198	1880—86			12,28			23
Littoral Napolitain ou Lucanie	15	55	1846—57	1,33			42		
Basilicate	34	311	1873—93		2,71			35	
Terres de Bari et d'Otrante	38	198	1884—93			11,90			96
Calabre septentrionale	27	148	1879—93		2,46			53	

1	2	3	4	5	6			7	
					h	l	g	sh	sl
21	Calabre centrale	46	1006	1850–76			20,51		
22	Calabre méridionale . . .	52	2230	1843–53			26,63		
	Calabre-séismes généraux ou mal déterminés . .	2	13						
	Totaux. . .	802	19614		1,33	33,78	695,55		
	Chapitre XII. Sicile et îles adjacentes.								
1	Iles Eoliennes ou Lipari .	6	116	1887–93			10,57		
2	Messine ou Monts Peloritani	25	731	1888–93			13,33		
3	Etna	43	1462	1873–87			55,42		
4	Côte de Syracuse . . .	27	587	1878–93			28,12		
5	Côte de Girgenti	21	886	1876–87			55,58		
6	Côte de Palerme	22	181	1817–31 1843–52 1873–93	1,97			24	
7	Iles du canal d'Afrique (Julia, Malte, Pantellaria etc.) .	18	154						
	Italie-séismes généraux ou mal déterminés. . . .	37	214						
	Totaux. . .	199	4331		1,97		107,60		
	Chapitre XIII. Bassin occidental de la Méditerranée.								
1	Baléares	5	37						
2	Corse	4	5	1827–80	0,04			230	
3	Sardaigne	4	8	1835–76	0,14			205	
	Totaux. . .	13	50		0,18				
	Chapitre XIV. Balkans et bas-Danube.								
1	Dalmatie	61	947	1843–60 1896–98		26,80			29,8
2	Bosnie.	21	72	1872–88	3,92			55	
3	Herzégovine et Montenégro (Tschernagora)	8	37	1872–88	1,64			57	
4	Albanie, Epire et Corfou .	46	893	1855–62 1864–75 1894–97		30,12			36,6
5	Macédoine	30	257	1855–61 1864–76 1894–97		7,37			92,6
6	Roumélie Turque ou Thrace (Bassin de la Maritza) .	19	154	1855–76 1894–97		1,34			223,7
7	Bulgarie	14	60	1858–97		0,90			294
8	Serbie.	8	17	1889–95		1,57			198,9
9	Valachie	15	65	1855–97		0,77			324,5
10	Moldavie et Bessarabie .	25	114	1854–95		1,43			224,8
11	Galicie et Bukowine . .	12	16	1871–81	0,63			190	
	Totaux. . .	259	2632		6,19	70,30			

1	2	3	4	5	6			7		
					h	l	g	sh	sl	sg
	Chapitre XV. Grèce.									
1	Thessalie.	13	76	1863 1867—68 1895—97		7,00			42	
2	Eubée et Sporades du nord	23	1228	(Eubée) 1857—78 1895—97		44,92			9,6	
3	Attique, Parnasse et Locride	43	1979	1858—78 1895—97		29,27			22,1	
4	Acarnanie	17	138	1895—97		25,26			21	
5	Iles Ioniennes	41	5700	1825—68 1875 1892—93 1895—97		89,21			6,5	
6	Achaïe	22	308	1860—76 1882—83 1887—88 1895—97		15,83			20,8	
7	Corinthie et Argolide . .	28	311	1858—78 1886—88 1895—97		27,00			16,5	
8	Laconie	12	54	1858—62 1867 1876—77 1895—97		3,16			45,8	
9	Messénie	21	93	1895—97		3,33			39,7	
10	Arcadie	20	75	1895—97		2,66			38,7	
11	Crète ou Candie	8	100	1858—88	1,64		70,7			
12	Les Cyclades	14	141	1860—63 1867—74 1895—97		5,78			69,9	
	Séismes généraux ou mal déterminés	9	32							
	Orient-séismes généraux ou mal déterminés. . . .	9	71							
	Totaux. . .	280	10306		1,64	253,42				
	Chapitre XVI. Russie.									
1	Laponie russe	8	22	1750—72 1811—82	0,20					
2	Finlande	32	92	1750—92 1800—05 1823—26 1843—59 1877—84	0,80			295,2		
3	Archipel d'Aland et golfe de Bothnie	3	5	1823—82	0,09					
4	Russie d'Europe proprement dite	56	104	1819—27 1867—75 1881—88	1,65					
5	Oural	12	30	1788-1888	0,21			276,5		
	Séismes génér. ou mal dét.	5	5							
	Totaux. . .	116	258		2,95					
	Europe. Totaux	5008	61717		90,18	731,54	1206,34			

1	2	3	4	5	6			7		
					h	l	g	sh	sl	sg
	Asie.									
	Chapitre XVII. Sibérie.									
1	Basse Sibérie	9	14							
2	Altaï	35	62	1761—66 1783—87 1822—31 1844—51 1879—87	1,18			322,2		
3	Baïkalie	18	248	1856—76	3,19			145,6		
4	Transbaïkalie	15	419	1847—87	9,54			72,8		
5	Territoires de l'Amour . .	12	42	1860—68 1883—88	1,47					
6	Ile Saghalien	2	2							
7	Côtes de la mer d'Ochotsk	6	34							
	Totaux . .	97	821		15,38					
	Chapitre XVIII. Turkestan.									
1	Caspienne orientale . . .	7	12	1876—95	0,50					
2	Syr-Daria	12	348	1866—88	3,74			116,1		
3	Issyk-Koul	21	297	1881—89	32,99			37,8		
	Totaux . .	40	657		37,23					
	Chapitre XIX. Isthme caucasique.									
1	Côtes orientales de la mer noire	12	42	1869—88	1,60			51,6		
2	Kouban	14	42	1865—85	1,67			57,5		
3	Térek	31	127	1822—86	1,21			70,8		
4	Daghestan	13	53	1841—55 1863—85	1,22			64,4		
5	Kour-Rive gauche . . .	27	324	1801—05 1840—88	5,17			34,4		
6	Kour-Rive droite	20	107	1853—88	2,27			51,6		
7	Araxe-Rive gauche . . .	23	131	1840—56 1868—74 1888—92	3,07			45,7		
8	Araxe-Rive droite . . .	11	125	1840—83	2,29			57,1		
	Séismes généraux ou mal déterminés	13	23							
	Totaux . .	164	974		18,50					
	Chapitre XX. Asie mineure.									
1	Arménie turque	29	247	1895—97		26,33			51,3	
2	Kyzil-Ermak	33	132	1895—97		8,12			95,8	
3	Mer de Marmara et îles d'Imbros, Lemnos et Métélin	83	2097	1855—78 1894—97		18,78			60,6	
4	Méandre ou Aïdin et îles de Samos à Rhodes . .	79	1801	1855—78 1883—88 1894—97		26,20			43,3	

1	2	3	4	5	6			7		
					h	l	g	sh	sl	sg
5	Taurus	19	64	1895—97		4,00			140	
6	Ile de Chypre	8	87							
	Séismes généraux ou mal déterminés	1	23							
	Totaux . .	252	4451			83,43				
	Chapitre XXI. L'Asie désertique.									
1	Syrie et Palestine . . .	28	195							
2	Arabie et mer rouge orient.	8	19							
3	Mésopotamie	13	48							
4	Farsistan, Mékran et Béloutschistan méridional .	12	66							
5	Iran	12	17							
6	Ghilan et Mazendéran . .	6	50							
7	Khorassan	8	21							
	Totaux . .	87	417							
	Chapitre XXII. Inde.									
1	Pendjab et Afghanistan .	16	68							
2	Haut Pendjab et Cachemire	7	45	1885—86	17,50			20		
3	Kémaon, Népaul et Sikkim	13	37	1828—33 1842—43	2,25			104		
4	Assam	21	433	1874—80		26,00			34	
5	Gange et Bengale . . .	17	49	1870—72	4,00			115		
6	Kutch et Sindh	11	86	1841—56 1864—70	0,48			96		
7	Gudzerate et Bombay . .	17	53	1868—72	5,60			66		
8	Deccan	11	15	1865—73	0,88			251		
9	Ceylan	8	12							
0	Golfe de Bengale . . .	3	3							
1	Iles Maldives et Tschagos	1	1							
2	Séismes généraux ou mal déterminés	5	11							
	Totaux . .	130	813		30,71	26,00				
	Chapitre XXIII. L'Indo-chine.									
1	Arracan et Birmanie . .	7	19							
2	Presqu'île de Malacca . .	3	11							
3	Indo-chine (Tonkin, Annam, Cochinchine, Cambodge, Siam)	6	7							
4	Iles Andaman, Nicobar et Barren	5	124							
	Totaux . .	21	161							

1	2	3	4	5	6			7	
					h	l	g	sh	sl
	Chapitre XXIV. Le plateau central asiatique.								
1	Mongolie et Mandchourie	4	8						
2	Dzoungarie chinoise, Turkestan chinois et Pamir	8	89						
3	Kan-Sou	10	112						
4	Thibet	4	5						
5	Yun-nan	19	129						
	Totaux . .	45	343						
	Chapitre XXV. Chine.								
1	Leao-Toung et Corée . .	12	50						
2	Chine septentrionale .	112	860						
3	Chine occidentale . . .	43	853						
4	Chine centrale	23	245						
5	Chine méridionale . . .	24	66						
6	Ile d'Haïnan	1	14						
7	Mer de chine méridionale	2	2						
	Séismes généraux ou mal déterminés	14	467						
	Totaux . .	231	2557						
	Chapitre XXVI. Japon.			(1885—92)					
1	Les Kouriles	12	48	(Les Kouriles méridionales)		2,50			58,8
2	Nemuro	36	443			43,00			16,3
3	Reste de l'île d'Yeso . .	3	344			5,12			111,4
4	Siribesi	20	53			5,25			38,6
5	Détroit de Tsugaru . . .	47	301			23,75			24,3
6	Nord-ouest du Nippon . .	50	131			9,37			58,3
7	Rikiutsiu	43	475			15,12			36,0
8	Golfe de Sendaï	58	286			17,87			28,3
9	Bassin du haut Akanagawa	18	71			2,75			42,2
10	Bassin du Sinanogawa .	75	435			30,50			26,2
11	Golfe du Toyama-Wan .	13	21			2,12			81,6
12	Ouest de la presqu'île de Noto	30	128			15,37			25,7
13	Pentes nord des plaines de Tokyo	52	178			19,74			22,2
14	Collines du Tsukuba-San .	51	611			65,62			10,5
15	Presqu'île d'Awa et Kasuza	36	263			29,75			17,6
16	Plaines de Tokyo . . .	72	2418			92,25			12,0
17	Pentes ouest des plaines de Tokyo	19	56			4,50			35,2
18	Bassin du Fugigawa . .	33	92			7,75			29,1
19	Bassin du Tenriugawa . .	26	49			5,50			44,4
20	Bassin du haut Kisogawa	36	417			14,37			21,3
21	Mino	17	129			11,50			13,2
22	Owari	48	3356			24,74			18,5
23	Ize	24	95			9,37			24,0

	2	3	4	5	6			7		
					h	l	g	sh	sl	sg
	Sud de la presqu'île de Kii	39	212			25 00			28,4	
	Lac Biwa et mer d'Izumi	67	1934			16,75			26,00	
	Golfe de Wakasa . . .	25	55			6,25			36,1	
	Inaba, Tajima et Hoki oriental	6	10			0,75			66,9	
	Versant nord des mers d'Harima et de Bingo .	30	91			5,62			41,8	
	Mers d'Harima et de Bingo	17	43			5,12			28,9	
	Sikoku sud-oriental . . .	18	953			4,00			60,6	
	Sikoku nord-oriental . .	7	9			1,00			54,4	
	Versant coréen du Nippon sud-occidental	74	175			20,87			34,0	
	Versant nord des mers de Suo, Iyo et Misima . .	42	82			6.87			31,4	
	Mers de Suo, Iyo et Misima	30	151			16,50			25,8	
	Sikoku nord-occidental .	10	24			2,87			33,7	
	Sikoku sud-occidental . .	15	36			3,87			41,6	
	Versant oriental de Kiushiu	32	75			7,87			34,4	
	Kagoshima	25	486			22,37			21,3	
	Kiushiu occidental . . .	58	1206			11,87			47,5	
	Kiushiu nord-oriental . .	11	32			3,50			61,8	
	Archipel Liou-Kiou (Tsubu-Soto)	4	35							
	Formose (Thay-Ouan) . .	12	49							
	Archipels Bonin (Ogasawara Sima) et de l'archevêque	3	4							
	Iles Bayonnaise et Smith	2	2							
	Séismes généraux ou mal déterminés	13	304							
	Totaux . .	1359	16368			605,83				
	Asie. Totaux	2426	27562		101,82	631,83				
	Afrique.									
	Chapitre XXVII.									
	Etats barbaresques.									
1	Maroc	12	26							
2	Tlemcen	3	6							
3	Oran	16	93	1886—94	3,11			81		
4	Tenès	3	43	1881—88	1,87			33		
5	Vallée du Chéliff . . .	10	31	1882—90	1,44			90		
6	La Mitidja	12	215	1881—94	3,14			41		
7	Kabylie	13	48	1885—91	4,00			48		
8	Aumale et Dibra	16	203	1885—88	20,50			31		
9	Constantine	18	135	1883—88	3,50			89		
10	Aurès et Tell	8	30	1885—94	0,50			184		
11	Tunisie	16	47							
12	Tripolitaine et Fezzan . .	3	4							
	Algérie. Séismes généraux ou mal déterminés . .	5	34							
	Totaux . .	135	915		38,06					

1	2	3	4	5	6			7	
					h	l	g	sh	sl
	Chapitre XXVIII. Afrique proprement dite.								
1	Egypte et Ethiopie . . .	12	59						
2	Abyssinie et Erythrée . .	13	37						
3	Haut Nil et les grands lacs	10	20						
4	Zanzibar	1	1						
5	Nyassa et du Zambéze à la Limpopo	4	7						
6	Afrique méridionale, du Cap à la Limpopo	8	21						
7	Côtes de l'Orange au Congo	1	1						
8	Congo	1	1						
9	Golfe de Guinée (de l'embouchure du Congo au cap Palmas)	2	12						
10	Sénégal	2	5						
11	Sahara	2	15						
	Totaux . .	56	179						
	Chapitre XXIX. Océan Atlantique.								
1	Les Açores	12	1444	1862 - 67	6,22			20	
2	Madère	1	10						
3	Les Canaries	13	67						
4	Iles du cap vert	3	11						
5	Rocher Saint Paul . . .	33	35						
6	Iles Ascension, Sainte Héléne, Tristan d'Acunha et Atlantique sud . .	13	29						
7	Atlantique nord	3	3						
8	Atlantide	33	42						
9	Atlantique (des îles du cap vert à l'Amazone) . .	12	12						
10	Région volcanique de Daussy (Atlantique équatorial)	39	51	1831—51	25,00			201	
	Totaux . .	162	1704		31,22				
	Chapitre XXX. Océan indien.								
1	Les Mascareignes . . .	8	16						
2	Madagascar	6	25						
3	Les Comores	1	2						
4	Iles Kerguelen, Saint Paul et Amsterdam (pour mémoire)								
5	Océan indien	14	14						
	Totaux . .	29	57						
	Afrique. Totaux	382	2855		69,28				

	2	3	4	5	6			7		
					h	l	g	sh	sl	sg
	Amérique du nord.									
	Chapitre XXXI.									
	Mer de Behring.									
1	Kamtchatka et îles du Commandeur	12	98	1841—54	4,00			87,5		
2	Aléoutes	15	86							
3	Alaska	7	12							
	Totaux . .	34	196		4,00					
	Chapitre XXXII.									
	Canada ou Dominion.									
1	Labrador et Terre-Neuve .	3	3							
2	Nouvelle Ecosse, nouveau Brunswick et île du Cap Breton	13	13	1847—53 1884—86	1,00			137		
3	Saint Laurent	23	80	1879—88	4,10			59		
4	Côtes nord des lacs Erié et Ontario	14	16	1877—85	1,22			80		
	Totaux . .	53	112		6,32					
	Chapitre XXXIII.									
	Versant atlantique des Etats-Unis									
1	Nouvelle Angleterre . .	105	478	1727—41 1791—94 1876—85	16,47			90		
2	Les Carolines	56	160	1849—61 1874—86	3,61			154		
3	Côtes sud des Lacs Erié et Ontario	32	55	1844—60 1865—73 1877—85	1,54			170		
4	Ohio, Tennessee et moyen Mississipi	67	162	1846—56 1875—85	3,95			170		
5	Côtes du golfe du Mexique	15	17							
6	Michigan	9	9	1847—55	2,20			240		
7	Le Far-West	23	29							
	Etats-Unis et Canada. Séismes généraux ou mal déterminés	4	27							
	Totaux . .	311	937		27,77					
	Chapitre XXXIV.									
	Versant pacifique des Etats-Unis.									
1	Côtes du mont Saint-Elie aux îles Scott	7	97							
2	Washington et Vancouver	32	94	1877—85 1888—96		4,22			118	
3	Californie septentrionale .	51	213	1877—96		4,90			92,8	
4	Californie centrale . . .	113	1096	1860—97		21,86			78,1	



1	2	3	4	5	6			7	
					h	l	g	sh	sl
5	Californie méridionale . .	62	747	1848–57 1878–96		9,55			87,1
6	Les Montagnes Rocheuses	60	2179						
	Californie. Séismes génér. ou mal déterminés . .	19	41						
	Totaux . .	344	4467			40,53			
	Chapitre XXXV. **Mexique.**								
1	Basse ou Vieille Californie			1845–57 1870–71 1878–92		1,61			294,1
2	Sonora et Sinaloa . . .	10	109	1837–93		15,57			130,6
3	Désert de Mapimi . . .	15	34	1880–87		1,82			464,7
4	Tamaulipas	9	10	1880–87		0,44			631,4
5	San-Luis Potosi et Queretaro	18	75	1888-99,5		3,33			154
6	Ceboruco	6	36	1875–88		2,28			142,8
7	Colima	20	189	1885-99,5		18,88			194,1
8	Chapalà	30	485	1872–93		17,59			83,6
9	Flanc sud de la sierra Madre ou Acapulco . .	27	471	1878–89 1895-99,5		15,52			42,5
10	Rio Mexcala	48	457	1878–89 1895-99,5		21,75			53,8
11	Plateau central d'Anahuac ou de Mexico	18	339	1644–98 1784–05 1844-99,5		15,70			58,3
12	Oaxaca et Tehuantepec .	29	1134	1875-99,5		42,12			12
13	Orizaba	23	2102	1845–49 1878–84 1887–90 1895-99,5		5,61			92,4
	Orizaba (observations sismographiques)			1887–95			217,77		
14	Coatzacoalcos	4	8	1871–90		0,65			220,2
15	Chiapas et Tabasco . .	8	26	1872–87 1897-99,5		1,13			216 1
16	Tonalà	3	5	1897-99,5		1,20			84,9
17	Archipels Revillagigedo et Tres Marias	4	5						
	Séismes généraux ou mal déterminés	8	56						
	Totaux . .	288	5586			159,59	217,77		
	Chapitre XXXVI. **Le Centre Amérique.**								
1	Belize et Honduras . . .	15	53	1846–56	2,09			42	
2	Guatémala	30	843	1853–63		12,91			21
3	Salvador	26	1181	1881–84		44,50			13
4	Nicaragua	12	70						
5	Costarica	13	549	1866–80		18,0			17
6	Darien	9	43	1882–88		4,14			28
	Totaux . .	105	2739		3,09	79,55			

1	2	3	4	5	6			7		
					h	l	g	sh	sl	sg
	Chapitre XXXVII. Les Antilles.									
1	Les Bermudes	1	9							
2	Les Bahamas	2	2							
3	Cuba occidental	5	15	1862–63 1880–81	1,75			52		
4	Cuba central et les Caïmans	4	4	1851—57	0,28			218		
5	Cuba oriental	11	192	1854–67	2,57			57		
6	La Jamaïque	17	157	1847—73	2,48			32		
7	Haïti et Saint Domingue .	22	262	1783–89	5,14			59		
8	Portorico et îles Vierges .	18	694	1864–66 1869—79	8,00 4,00			23 32		
9	Pet. Antilles ou îles du vent	40	1196	1845 - 71	7,03			42		
10	Mer intérieure des Antilles	2	2							
11	Fosse maritime à l'est des Antilles	12	15							
	Séismes généraux ou mal déterminés	2	13							
	Totaux . .	136	2561		27.25					
	Amérique du nord. Totaux	1271	16598		67,43	279,67	217,77			
	Amérique du sud.									
	Chapitre XXXVIII. Versant atlantique de l'Amérique du sud.									
1	Orénoque	10	26							
2	Les Guyanes	8	25							
3	De l'Orénoque au cap Horn	19	28							
4	Tucuman	13	265	1873—86		7,64			50	
	Totaux . .	50	344			7,64				
	Chapitre XXXIX. Andes du nord.									
1	Paria et Trinidad . . .	9	113	1863—68	3,16			33		
2	Vénézuéla proprement dit ou Caracas	17	259	1857—71 1885—87		12,44			34	
3	Iles sous le vent	2	6							
4	Andes du Vénézuéla . .	20	106	1865—70 1885—87		8,00				73
5	Basse Magdalena et Maracaybo	11	34	1845—56 1865—69 1883—86	1,94				193	
6	Haute Magdalena . . .	12	79	1866—72	2,71				80	
7	Cauca et Atrato	3	5							
8	Andes de Quito	30	772	1864—72 1879	5,50				40	
9	Guayaquil	8	48	1866—72 1878—80	3,40				74	
10	Les Gallapagos (pour mémoire)									
	Totaux . .	112	1422		16,71	20,44				



1	2	3	4	5	6 h	6 l	6 g	7 sh	7 sl
	Chapitre XL. Andes du centre.								
1	Côte péruvienne septentrionale de Payta à Casma	6	19	1855—75	0,62			138	
2	Côte péruvienne centrale du Callao à Ica . . .	14	1177	1709 / 1858—65 / 1867—71		19,53			32
3	Côte péruvienne méridionale de Caraveli à Iquique .	18	1621	1810—46 / 1862—72		31,27			53
4	Haut Pérou et Bolivie . .	23	67						
	Totaux . .	61	2884		0,62	50,80			
	Chapitre XLI. Andes du sud.								
1	Chili septentrional de Chañaral à Illapel . .	16	1103	1849—73 / 1875—86		36,51			20
2	Chili central d'Illapel à Concepciòn	31	1512	1836—41 / 1849—86		28,25			42
3	Chili méridional de Concepciòn à Puerto Montt	30	772	1867—72	3,83			42	
4	Extrême sud du Chili (de Puerto Montt au cap Horn)	4	5						
5	Iles Juan Fernandez . .	3	11						
	Séismes généraux ou mal déterminés	3	28						
	Totaux . .	87	3431		3,83	64,76			
	Amérique du sud. Totaux	310	8081		21,16	143,64			
	Océanie. Chapitre XLII. Sumatra.								
1	Atchin ou Atjeh	10	97	1884—91 / 1895—96		7,45			37,5
2	Tapanoelie et Poeloe-Nias	26	384	1852—68 / 1870—96		7,93			28,3
3	Padang	43	552	1845—46 / 1850—68 / 1870—96		9,73			46,9
4	Bengkoelen	24	268	1854—67 / 1876—98		7,27			57,4
5	Ile Engano	7	9	1853—93		0,17			
6	Palembang et Lampongs .	28	165	1850—56 / 1875—98		3,71			107,5
7	Archipels orientaux (Bintang ou Riouw, Bangka, Billiton)	8	14						
	Séismes généraux ou mal déterminés	1	42						
	Totaux . .	156	1559			36,26			

1	2	3	4	5	6			7		
					h	l	g	sh	sl	sg
	Chapitre XLIII. Java.									
1	Java occidental	104	931	1846—49 1851—63 1870—98		10,98			43,9	
2	Java central occidental .	79	535	1846—48 1850—68 1870—73 1875—98		14,11			53,9	
3	Java central oriental . .	89	510	1845—68 1870—73 1875—98		9,09			61,5	
4	Java oriental	24	92	1884—98		3,40			59,2	
5	Madoera	6	10	1887—95		0,55			88,8	
	Séismes généraux ou mal déterminés	5	41							
	Totaux . .	307	2155			38,13				
	Chapitre XLIV. Les Moluques.									
1	Bornéo britannique . . .	1	2							
2	Bornéo hollandais occidental	5	9							
3	Bornéo hollandais oriental	5	10							
4	Celebes méridional (presqu'île de Mangkasar) et îles Saleyer	14	61	1885—98		2,93			62,7	
5	Celebes central et golfe de Tomaiki ou Tolo . . .	2	9	1896—98		2,66			109,8	
6	Celebes septentrional (presqu'île de Menado) . .	35	1069	1845—98		17,91			41	
7	Iles Sanguir, Siao et Talauer	7	27							
8	Moluques septentrionales (Morotai, Halmaheira, Ternate, Ombaai) . . .	16	981	1770—74 1812—34 1846—71 1889—98		10,35			67	
9	Moluques méridionales (Boeroe, Ceram, Saparoea, Amboine, Banda) . . .	34	815	1841—98		12,55			41,6	
10	Iles de Wetter aux Aroe	18	48	1886—98		5,20			218,1	
11	Timor	12	167	1856—60 1864—68 1893—97		5,20			76,1	
12	Iles de Bali à Allor . .	30	276	1859—98		7,60			98,4	
	Totaux . .	180	3474			64,40				
	Chapitre XLV. Les Philippines.									
1	Rio Grande ou Luçon nord-est	25	364	1870—97		4,22			86,1	
2	Les Ilocos	31	274	1867—97		7,26			43,9	
3	Manille	36	689	1869—97		8,25			18,8	

1	2	3	4	5	6			8		
					h	l	g	sh	sl	sg
4	Iles Mindoro, Calamianes, Cuyos, Palawan et Balabac	10	135	1871—78 1890—97		3,13			53,8	
5	Presqu'île des Camarines .	16	493	1878—97		10,60			34.4	
6	Iles Burias, Masbate, Samar et Leyte	14	281	1869—97		2,31			114,3	
7	Iles Panay, Cebù et Bohol	14	122	1869—97		2,79			128.1	
	Luçon. Séismes généraux ou mal déterminés . .	5	41							
	Totaux . .	151	2399			38,56				
	Chapitre XLVI. **Mindanao.**									
1	Mindanao nord-oriental .	28	1181	1878—98		21,80			27,9	
2	Mindanao sud-oriental . .	5	68	1870—73 1878—79 1891—98		4,76			66,8	
3	Mindanao central . . .	6	131	1871—72 1888—98		5,50			87,9	
4	Presqu'île de Zamboanga et île Basilan	11	122	1869—98		2,79			73,9	
5	Archipel Soulou	2	10							
6	Iles Palaos ou Pelew . .	1	1							
	Totaux . .	53	1513			34,85				
	Chapitre XLVII. **Australie et Tasmanie.**									
1	Australie	24	72							
2	Tasmanie	6	11	1859—84	0,45			192		
	Totaux . .	30	83		0,45					
	Chapitre XLVIII. **Nouvelle Zélande.**									
1	Auckland	20	125	1869—95		4,52			128,1	
2	Détroit de Cook	30	1540	1846—48 1868—95		14,97			72,2	
3	Canterbury	16	100	1868—95		3,14			137	
4	Otago et île Stewart . .	9	55	1871—95		2,12			151,4	
5	Côte occidentale de l'île du milieu	5	23	1870—95		0,88			145,3	
6	Iles Kermadec, Chatam et Auckland	3	3							
	Séismes généraux ou mal déterminés	18	79	1868—95		2,39				
	Totaux . .	101	1925			28,02				
	Chapitre XLIX. **Océanie proprement dite ou Polynésie.**									
1	Iles Mariannes ou des Larrons	6	246	1892—98		15,00				

	2	3	4	5	6			7		
					h	l	g	sh	sl	sg
2	Les Carolines	1	2							
3	Nouvelle Guinée et nouvelle Bretagne	9	34							
4	Nouvelles Hébrides, Santa Cruz et îles Salomon .	12	52							
5	Nouvelle Calédonie et îles Loyalty	4	18	(Nouvelle Calédonie) 1875—87		0,61			161	
6	Iles Tonga, Samoa et Tokelau	11	62							
7	Iles Sandwich ou Hawaï .	18	778	(IleHawaï) 1843—74		13,0			30	
8	Polynésie et épicentres sporadiques de l'Océan Pacifique	28	30							
	Totaux . .	89	1222			28,61				
	Océanie. Totaux .	1066	14320		0,45	268,83				
	Chapitre XL. Terres Antarctiques (pour mémoire).									
	Nota. Quelques régions ont été indiquées « pour mémoire ». C'est qu'on y connait des phénoménes volcaniques, mais pas de séismes.									

Tableau VI.

Classement des régions sismiques par ordre de sismicité décroissante.

En outre des regions sismiques du tableau précédent on a donné un certain nombre de régions résultant de la combinaison de deux ou davantage d'entre elles, adjacentes. Beaucoup de régions japonaises s'étendent sur terre et sur mer. On a pu calculer les sismicités séparées



des portions émergée et immergée. Mais la région totale est celle qui est portée au tableau précédent.

Numéro de classement	Chapitre dont fait partie la région	Numéro de la région dans le chapitre.	Désignation de la région	Sismicité en kilomètres
			Collines du Tsukuba-San (terres)	3,0
1	XI	10	Albanese	4
2	XII	3	Etna	4
			Owari (terres) (1891—1893)	4,7
			Haut bassin du Kisogawa (terres)	5,5
3	VIII	2	Vorarlberg	5,7
4	XV	5	Iles Ioniennes	6,5
5	VIII	13	Göritz	9,1
6	XV	2	Eubée	9,6
			Plaines de Tokyo (terres)	9.6
7	VIII	12	Carniole	10,0
8	XXVI	14	Collines du Tsukuba San	10,5
			Versant méridional des Alpes autrichiennes	11,6
9	VI	4	Côtes nord du lac de Genève ou Léman	12,0
10	XXXV	12	Oaxaca et Tehuantepec	12
11	XXVI	16	Plaines de Tokyo	12.0
12	XXXVI	3	Le San-Salvador	13
13	XXVI	21	Mino	13,2
14	VI	6	Haut Valais	13,9
			Owari (terres)	14 3
15	VIII	7	Pusterthal	14.3
			Nemuro (terres)	14,5
16	IV	13	Alpes maritimes	15
			Détroit de l'Euripe	15.8
17	XI	6	Ombrie	16
			Grèce au sud de l'Othrys	16.2
18	XXVI	2	Nemuro	16,3
19	XV	7	Corinthie et Argolide	16,5
			NO du Nippon (Golfe d'Akita; mer)	16,5
			Pentes nord des plaines de Tokyo (mer)	16,5
20	XXXVI	5	Costarica	17
			Golfe de Naples (îles d'Ischia et de Capri; Vésuve et Campanie)	17
21	IX	8	Marmaros	17
22	XXVI	15	Presqu'île d'Awa et Kasuza	17.6
			Grèce au sud de l'Olympe	17,7
			Kagoshima (mer)	17,7
23	VIII	5	Autriche proprement dite	17,8
			Massif autrichien des Alpes	17.8
24	IX	10	Jazygie	18
			Ligurie	18
25	XI	2	Toscane	18
26	X	8	Vérone, sette et trece comuni	18
			Côtes sud des golfes de Lépante et d'Egine	18,2
			Presqu'île d'Awa et Kasuza (mer)	18,3
27	XXVI	22	Owari (1885—1890)	18,5
28	XLV	3	Manille	18,8
29	X	15	De la Serivia au Taro	19

Numéro de classement	Chapitre dont fait partie la région	Numéro de la région dans le chapitre	Désignation de la région	Sismicité en kilomètres
			Détroit de Tsugaru (terres dans le Nippon) .	19,0
30	X	2	Piémont	19
31	XI	15	Vésuve et Campanie.	19
			Versant sud du Nippon (terres)	19,5
			Ize (terres)	19,6
			Versant Pacifique du Nippon (terres) . . .	19,8
32	XXIX	1	Les Açores	20
33	XLI	1	Chili septentrional de Chañaral à Illapel . .	20
34	XXII	2	Haut Pendjab et Cachemire	20
			Grèce du nord-ouest.	20,1
			Golfes de Lépante et d'Egine	20,2
			Versant oriental du Nippon (terres)	20,2
			Versant oriental du Nippon	20,4
			Versant oriental du Nippon (mer)	20,6
35	XV	6	Achaïe	20,8
			Versant Pacifique du Nippon	20,9
36	XV	4	Acarnanie	21
			Détroit de Tsugaru (terres das l'Yezo sud .	21,0
37	XXXVI	2	Guatémala	21
38	IX	6	Sohl	21
39	XXVI	20	Bassin du haut Kisogawa	21,3
40	XXVI	38	Kagoshima	21,3
			Versant sud du Nippon	21,5
			Côtes nord des golfes de Lépante et d'Egine	21,6
41	VI	8	Engadine	21,6
42	VIII	9	Murthal	21,9
43	XV	3	Attique, Parnasse et Locride	22,1
44	XXVI	13	Pentes nord de plaines de Tokyo	22,2
45	XI	16	Archipel napolitain	23
46	X	13	Bolonais	23
47	XXXVII	8	Portorico et îles Vierges (1864—1866) . . .	23
			Nippon	23,2
			Pentes nord des plaines de Tokyo (terres) .	23,3
			Kiushiu est (mer).	23,6
			Nemuro (mer)	23,6
			Golfe de Sendaï (mer)	23,8
			Sikoku sud-ouest (mer de l'est)	23,9
48	XII	6	Côte de Palerme	24
49	X	10	Frioul	24
50	XXVI	23	Ize	24,0
			Morée ou Péloponése	24
51	VII	9	Riesengebirge	24
52	XXVI	5	Détroit de Tsugaru	24,3
			Presqu'île de Kii (mer de l'ouest)	24,3
			Ouest de la presqu'île de Noto (terres) . . .	24,7
			Bassin du Sinanogawa (mer)	24,9
			Kiushiu (mer)	24,9
			Versant pacifique du Nippon (mer)	25,0
53	VI	5	Bas Valais	25,3
			Nippon, Kiushiu et Sikoku	25,4
			Rikiutsiu (mer du sud)	25,6
54	XXVI	12	Ouest de la presqu'île de Noto	25,7

Numéro de classement	Chapitre dont fait partie la région	Numéro de la région dans le chapitre	Désignation de la région	Sismicité en kilomètres
55	XXVI	34	Mers de Suo, Iyo et Misima	25,8
56	X	1	Alpes cottiennes	26
			Bassin du Sinanogawa (terres)	26,0
57	IV	17	Hautes et basses Pyrénées	26
58	XII	1	Iles Eoliennes ou Lipari	26
59	XXVI	25	Lac Biwa et mer d'Izumi	26,0
60	VII	12	Odenwald	26
			Préalpes italiennes à l'est du lac de Garde	26
61	XXVI	10	Bassin du Sinanogawa	26,2
62	VIII	10	Mürzthal et Soemering	26,2
			Mer intérieure du Japon de Simonoseki à l'île Awaji	26,6
63	VIII	3	Tyrol	26,7
			Japon (Kouriles méridionales, Yezo, Nippon, Sikoku et Kiushiu)	26,9
64	X	9	Bellune ou Alpes Dolomitiques	27
			Bassin de l'Arno et du Tibre	27
65	XI	11	Latium	27
			Versant coréen du Nippon (terres)	27,4
			Ouest de la presqu'île de Noto (mer)	27,6
66	XLVI	1	Mindanao Nord-est (îles Camiguin, Dinagat et Siargao)	27,9
67	XXXVI	6	Darien	28
			Vallées intérieures des Alpes autrichiennes	28,0
			Versant occidental des Apennins (des Alpes Apuanes à la Lucanie)	28
			Bassin du Fugikawa (terres)	28,1
68	XXVI	8	Golfe de Sendaï	28,3
69	XLII	2	Tapanoelie et Poeloe Nias	28,3
70	XXVI	24	Sud de la presqu'île de Kii	28,4
71	XXVI	29	Mers d'Harima et de Bingo	28,9
			Côte centre Américanie pacifique de Puntarenas à la Barra de Ocos	29
72	XXVI	18	Bassin du Fugikawa	29,1
			Haut Rhône (en amont du lac de Genève)	29,1
73	VIII	1	Vintschgau	29,1
74	XIV	1	Dalmatie	29,8
75	VI	1	Le Jura suisse	30,0
			Ile d'Hawaï	30,0
76	VJI	17	Planskerwald	30
			Presqu'île de Kii (mer à l'est)	30,3
			Détroit de Tsugaru (mer du détroit)	30,6
77	XXVII	8	Aumale et Dibra	31
78	III	5	Basse Ecosse (Lowland)	31
79	V	7	Malaga	31
80	XXVI	33	Versant nord les mers de Suo, Iyo et Missima	31,4
			Suisse	31,5
			Bassin de la mer intérieure du Japon	31,7
81	VIII	14	Istrie	31,8
			Kagoshima (terres)	31,8
			Sikoku	31,8
82	IX	3	Bakonywald	32

Numéro de classement	Chapitre dont fait partie la région	Numéro de la région dans le chapitre	Désignation de la région	Sismicité en kilomètres
83	XL	2	Côte péruvienne centrale du Callao à Ica . .	32
84	XXXVII	6	La Jamaïque	32
85	XXXVII	8	Portorico et îles Vierges (1869—1879) . . .	32
86	X	18	Rivière du Levant	32
			Sicile	32
			Versant occidental italien des Alpes	32
			Siribesi (mer)	32,3
			Golfe de Wakasa (terres)	32,5
87	V	8	Almeria	33
88	XI	13	Capitanate et Monte Gargano	33
89	XII	5	Côte de Girgenti	33
90	XXXIX	1	Paria et Trinidad.	33
			Pyrénées françaises	33
91	X	17	Rivière du Ponant	33
92	XXVII	4	Tenès	33
			Ize (mer)	33,1
			Versant nord des Alpes suisses	33,1
			Golfe de Sendaï (terres)	33,3
			Sikoku (moins la mer intérieure)	33,3
93	VIII	11	Styrie	33,4
94	XXVI	35	Sikoku nord-ouest	33,7
95	XXII	4	Assam	34
			Italie péninsulaire	34
96	XII	2	Messine ou Monts Peloritani	34
97	VII	5	Taunus et Hundsrück, ou Nassau	34
98	XXXIX	2	Vénézuéla proprement dit ou Caracas . . .	34
99	XXVI	32	Versant coréen du Nippon sud-occidental . .	34,0
100	VI	2	La plaine suisse	34,3
101	XLV	5	Les Camarines	34,4
102	XIX	5	Kour (rive gauche)	34,4
103	XXVI	37	Versant oriental de Kiushiu	34,4
			Pentes ouest des plaines de Tokyo (terres) .	34,9
104	XI	18	Basilicate	35
105	XI	7	Les Marches	35
106	III	4	Perthshire	35
			Versant méridional de l'Himalaya	35
107	XXVI	17	Pentes ouest des plaines de Tokyo	35,2
			Versant coréen du Nippon	35,3
			Haut valais (de crête à crête)	35,6
			Bassin des Fugikawa (mer)	35,8
108	VIII	8	Carinthie	35,8
109	XXVI	7	Rikiutsiu	36,0
110	X	4	Tessin italien	36
			Détroit de Tsugaru (mer à l'est)	36,1
111	XXVI	26	Golfe de Wakasa	36,1
			Sikoku sud-est (mer)	36,1
			Kiushiu	36,2
112	XIV	4	Albanie, Épire et Corfou	36,6
113	VI	7	Les Grisons	36,7
			Pentes ouest des plaines de Tokyo (mer) . .	36,8
114	XLIX	7	Archipel d'Hawaï ou des Sandwich	36,9
115	XLII	1	Atchin ou Atjeh	37,5

Numéro de classement	Chapitre dont fait patrie la région	Numéro de la région dans le chapitre	Désignation de la région	Séismicité en kilomètres
116	XVIII	3	Issyk-Koul	37,[illegible]
			Mindanao oriental	37,[illegible]
117	IX	12	Banat	38
			Côtes du Chili de Chañaral à Puerto-Montt .	38
118	IX	14	Croatie	38
			Italie continentale	38
119	V	9	Valence et Murcie	38
120	XXVI	4	Siribesi	38,6
121	XV	10	Arcadie	38,7
			Collines du Tsukuba-San (mer)	38,7
			Yezo	38,[illegible]
122	XI	21	Calabre centrale	39
123	XI	22	Calabre méridionale	39
			Des Alpes aux Apennins (Bassin du Pô) . .	39
			Flanc sud du Cancase	39,4
			Bassin dn Tenriugawa (terres)	39,5
124	XV	9	Messénie	39,6
			Yezo (terres)	39,7
			Sikoku sud-ouest (mer de l'ouest)	39,8
			Rikiutsiu (terres)	39,9
125	XXXIX	8	Andes de Quito	40
			Marches et Molise	40
			Iles Eoliennes et Messine	40
126	VII	4	Westphalie	40
			Bassin du Kour	40,8
127	XXVII	6	La Mitidja	41
128	XLIV	6	Presqu'île de Menado	41
			Sicile sans l'Etna	41
129	XLIV	9	Moluques méridionale (Boeroe, Ceram, Amboine, Saparoea, Banda)	41,6
			Morée méridionale	41,6
130	XXVI	36	Sikoku sud-ouest	41,6
			Plaines de Tokyo (mer)	41,7
			Versant coréen du Nippon sud-ouest (mer) .	41,7
131	XXVI	28	Versant nord-est des mers d'Harima et de Bingo	41,8
132	XXXVI	1	Belize et Honduras	42
133	XLI	2	Chili central d'Illapel à Concepciòn	42
134	XLI	3	Chili méridional de Concepciòn à Puerto Montt	42
135	X	3	Doria Baltea	42
136	X	7	Du lac de Côme au lac de Garde	42
137	XI	5	Les lacs Latins	42
138	XI	17	Littoral Napolitain ou Lucanie	42
139	XXXVII	9	Petites Antilles ou îles du vent	42
140	VII	10	Silésie	42
141	XV	1	Thessalie	42
142	XXVI	9	Bassin du haut Akanagawa	42,2
			Kiushiu est (terres)	42,2
			Golfe de Wakasa (mer)	42,4
143	VIII	4	Salzbourg	42,4
144	XXXIII	9	Flanc sud de la Sierra Madre ou Acapulco .	42,5
			Yezo (mer au nord du Siribesi)	42,7
145	X	14	Parmesan	43

Numéro de classement	Chapitre dont fait partie la région	Numéro de la région dans le chapitre	Désignation de la région	Sismicité en kilomètres
146	VI	3	Les lacs suisses	43,1
147	XX	4	Méandre ou Aïdin; îles de Samos à Rhodes .	43,3
			Kiushiu ouest (mer)	43,3
			Versant sud du Nippon (mer)	43,4
			Kiushiu (terres)	43,7
148	XLV	2	Les Ilocos	43,9
149	XLIII	1	Java occidental	43,9
150	VIII	6	Trentin	43,9
151	III	6	Angleterre septentrionale et centrale . . .	44
152	XII	4	Côte de Syracuse	44
153	XXVI	19	Bassin du Tenriugawa	44,4
			Sud de la presqu'île de Kii (terres)	44,4
154	XI	14	Bénévent	45
			Les Calabres	45
			Siribesi (terres)	45,1
155	XIX	7	Araxe (rive gauche)	45,7
			Transcaucasie	45,7
156	XV	9	Laconie	45,8
			Versant pacifique mexicain de la baie de Banderas au Guatémala	45,8
			Versant sud de l'Atlas	46
157	XLII	3	Padang	46,9
158	XI	8	Abruzze centrale ou Aquila	47
			Alpes françaises	47
159	IV	11	Dauphiné et Savoie	47
160	VII	8	Erzgebirge et Fichtelgebirge	47
161	XXVI	39	Kiushiu occidental	47,5
162	XXVII	7	Kabylie	48
163	III	9	Côtes anglaises de la Manche	49
			Détroit de Messine	49
			Kiushiu occidental (terres)	49,9
164	V	2	Navarre et pays basques	50
165	XXXVIII	4	Tucuman	50
166	IV	9	Alsace	50,5
167	IX	13	Esclavonie	51
168	IV	14	Drôme, Vivarais et Vaucluse	51
169	XX	1	Arménie turque	51,3
170	XIX	1	Côtes orientales de la mer noire	51,6
171	XIX	6	Kour (Rive droite)	51,6
			Turkestan russe	51,6
172	III	3	Canal calédonien	52
173	XXXVII	3	Cuba occidental	52
174	IX	11	Torontal	52
			Caucase	52,1
			Owari (mer)	52,2
			Mindanao	52,4
175	XI	20	Calabre septentrionale	53
176	XL	3	Côte péruvienne de Caraveli à Iquique . . .	53
			Pyrénées espagnoles	53
			Bassin de l'Araxe	53,1
			Luçon	53,2
177	XI	9	Sabine	53,3



Numéro de classement	Chapitre dont fait partie la région	Numéro de la région dans le chapitre	Désignation de la région	Sismicité en kilomètres
250	XLIII	5	Madoera	88,8
251	XXVII	9	Constantine	89
252	VII	2	Jutland	89
253	XXXIII	1	Nouvelle Angleterre	90
254	XXVII	5	Vallée du Chéliff	90
			Angleterre et Ecosse	91
255	II	8	Norrland norvégien et îles Loffoten	91.4
256	XXXV	13	Orizaba	92,4
257	XIV	5	Macédoine	92.6
258	XXXIV	3	Californie septentrionale	93
259	X	6	Milanais	93
			Bassin de la Magdalena	94
			Angleterre	95
260	XX	2	Kyzil-Ermak	95.8
			Baïkalie et Transbaïkalie	95.9
261	XXII	6	Kutch et Sindh	96
			Iles de la Sonde de Malacca aux îles Aroe	96
262	XI	19	Terres de Bari et d'Otrante	96
263	V	4	Espagne centrale	97
			Littoral Pacifique des États-Unis de la baie de l'Amirauté à San-Diego	98,2
264	XLIV	12	Iles de Bali à Allor	98.4
			Mexique (moins la Californie et le Yucatan)	99.3
			Nouvelle-Zélande	100.2
265	V	6	Andalousie intérieure	102
266	X	12	Pô inférieur	102
			Pérou	103
			Régions Balkaniques	103,4
267	XXII	3	Kémaon, Népaul et Sikkim	104
			Plaines de l'Adige et du Pô	106
			Archipels entre Mindanao et Luçon	106.2
268	II	6	Côtes sud-occidentales de Norvège	106.5
269	XLII	6	Palembang et Lampongs	107,5
			Suède méridionale ou Gothie	108.4
270	XLIV	5	Celebes central et golfe de Tomaiki ou Tolo	109.8
271	XXVI	3	Reste de l'Yezo	111.4
			Golfe de Toyamawan (mer)	113.6
272	XLV	6	Iles Burias, Masbate, Samar et Leyte	114.3
273	VII	13	Wurtemberg, Schwarzwald et Souabe	114.4
274	XXII	5	Gange et Bengale	115
			Iles de Bali aux Aroe	115,7
275	XVIII	2	Syr-Daria	116,1
276	XXXIV	2	Washington et Vancouver	118
			Sumatra	119,5
			Côtes du Pacifique de Guayaquil à l'Atrato	121
277	IX	1	Raab	123
278	VII	8	Thuringe	128
279	XLVIII	1	Auckland	128,1
280	XLV	7	Iles Panay, Negros, Cebù et Bohol	128,1
			Versant occidental de la Norvège, du fiord de Varanger au cap Lindesness	130.3
281	XXXV	2	Sonora et Sinaloa	130,6

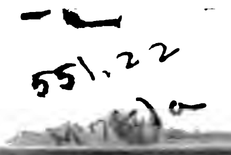
Numéro de classement	Chapitre dont fait partie la région	Numéro de la région dans le chapitre	Désignation de la région	Sismicité en kilomètres
			Versant oriental des Alleghanys	131
			Versant Pacifique du Mexique, du fond du golfe de Californie à la baie Banderas	132,3
282	IX	4	Moravie	134
			Norvège	136,1
283	XLVIII	3	Canterbury	137
284	XXXII	2	Nelle Ecosse, Neau Brunswick et île du cap Breton	137
285	XL	1	Côte péruvienne septentrionale de Payta à Casma	138
286	XX	5	Taurus	140
287	IV	4	Bretagne	142
288	XXXV	6	Ceboruco	142,8
			Ile Sado	144,1
289	XLVIII	5	Côte occidentale de l'île du milieu	145,3
290	XVII	3	Baïkalie	145,6
291	XLVIII	4	Otago et île Stewart	151,4
			Reste de l'île d'Yezo (terres)	151,6
292	XXXIII	2	Les Carolines	154
293	XXXV	5	San Luis Potosi et Queretaro	154
			Suède proprement dite et Gothie	157,6
294	VII	14	Augsbourg	161
295	XLIX	5	Nouvelle Calédonie	161
			Suède et Norvège	163,7
			Baie des volcans (Yezo; mer)	165,6
296	IV	2	Le nord de la France	167
297	XXXIII	3	Côtes sud des lacs Erié et Ontario	170
298	XXXIII	4	Ohio, Tennesse et moyen Mississipi	170
299	V	1	Galice et Portugal	173
300	II	5	Christiania	177,4
301	XXVII	10	Aurès et Tell	184
302	IV	16	Les Cévennes	188
303	IV	7	Moselle moyenne et Hardt	189
304	XIV	11	Galicie et Bukowine	190
305	XLVII	2	Tasmanie	192
306	II	2	Suède centrale ou proprement dite	192,7
			Côtes sud des grands lacs de l'Amérique du nord	193
307	XXXIX	5	Basse Magdalena et Maracaybo	193
308	XXXV	7	Colima	194,1
			Versant atlantique mexicain du Rio Bravo ou Grande del Norte à la laguna de Terminos	198,3
309	XIV	8	Serbie	198,9
			Suède	199,0
310	XXIX	10	Région de Daussy (Atlantique équatorial)	201
311	XIII	3	Sardaigne	205
312	IV	6	Centre de la France	214
313	IV	18	Sud-ouest de la France	215
314	XXXV	15	Chiapas et Tabasco	216,1
315	VII	15	Bavière orientale	218
316	XXXVII	4	Cuba central	218
317	XLIV	10	Iles de Wetter aux Aroe	218,1
318	XXXV	14	Coatzacoalcos	220,2
319	XIV	6	Roumélie Turque ou Thrace (Bassin de la Maritza)	223,7

Numéro de classement	Chapitre dont fait partie la région	Numéro de la région dans le chapitre	Désignation de la région	Sismicité en kilomètres
320	XIV	10	Moldavie et Bessarabie	224,8
321	II	7	Trondhjem	227,9
322	XIII	2	Corse	230
323	XXXIII	6	Michigan	240
324	XL	4	Haut Pérou et Bolivie	245
			Provinces Danubiennes	250,6
325	XXII	8	Deccan	251
			Rikiutsiu (mer au nord)	262,3
			Suède septentrionale ou Norrland	267,8
326	XVI	5	Oural	276,5
327	XIV	7	Bulgarie	294
328	XXXV	1	Basse ou vieille Californie	294,1
329	XVI	2	Finlande	295,2
330	XVII	2	Altaï	322,2
331	XIV	9	Valachie	324,5
332	II	9	Finmark norvégien	327,2
333	XXXV	3	Désert de Mapimi	464,7
334	XXXV	4	Tamaulipas	631,4

Tableau VII.

Liste des monographies sismiques déjà parues.

1	La Suisse	Archives des sciences physiques et naturelles de Genève. 15 VII, 1892.
2	France et Algérie	Annales des mines. Paris. 1892 VII.
3	Mexique	Memorias de la sociedad cientifica « Antonio Alzate ». VI. 1892.
4	L'Europe centrale	Arch. sc. ph. et nat. Genève. 15 I. 1894.
5	Les États scandinaves	Geologiska Föreningens i Stockholm Förandlingar. Bd. 16. H. 3 1894.
6	La Péninsule Ibérique et ses colonies	Anales de la sociedad Española de historia natural. Madrid. XXIII. 1894.
7	Italie	Arch. sc. phys. et nat. Genève. 15 I, 1895.
8	L'Empire Britannique et ses colonies	Quarterly journal of the geological society of London. XI, 1896.
9	Les Indes Néerlandaises	Natuurkundig Tijdschrift voor Nederlandsch Indië. Dl. LVI 1896. Batavia.
10	Le Japon	Arch. sc. ph. et nat. Genève. 15 III, IV, 1897.
11	L'Asie moyenne et la Chine	Arch. sc. ph. et nat. Genève. 15 III, 1898.
12	L'Amérique centrale et du sud	Mem. soc. cient. Ant. Alz Mexico. XI. 1898.
13	Les États-Unis	Arch. sc. ph. et nat. Genève. 15 IV, 1898.



14	L'Empire Russe	Bulletins du comité géologique de Saint-Pétersbourg. XVIII. 6. 1899.
15	Le Mexique (Révision)	Arch. sc. ph. et nat. Genéve. 15 III, 1900.
16	La Péninsule Balkanique et l'Asie mineure (sous presse)	Bull. Com. géol. St. Pétersbourg. 1900.

Table des matières

Appendice.

Pendant la publication de ce travail on a eu connaissance de deux mémoires très importants:

1. Omori. Note on the after-shocks of the Hokkaido earthquake of March, 22nd 1894. Tokyo. 1900.

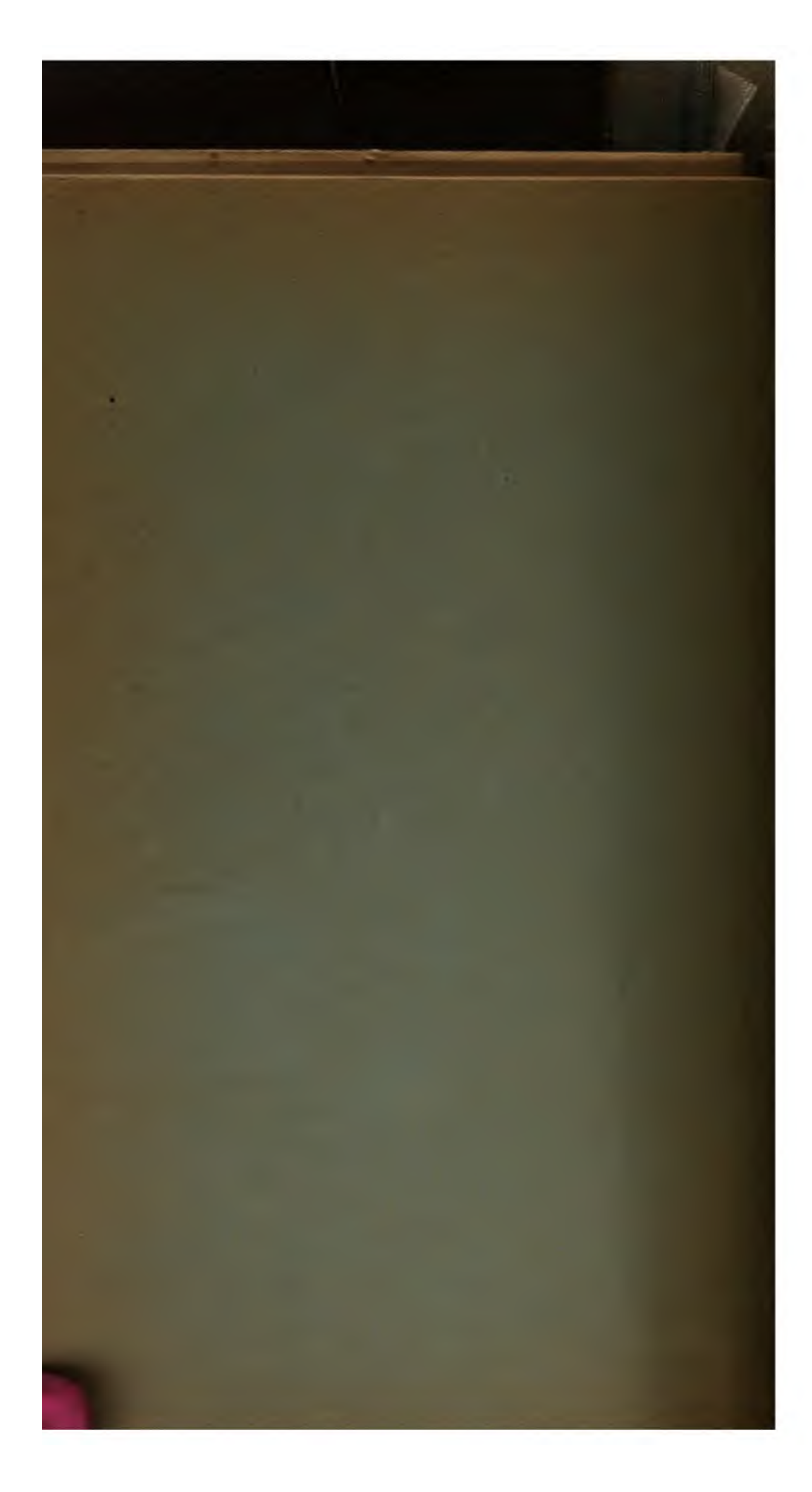
2. Eginitis-Tremblements de terre observès en Grèce de 1893 à 1898. Annales de l'observatoire national d'Athènes. T. II. Athènes. 1900.

Il en est résulté pour la région sismique Japonaise du Nemuro une augmentation de 971 séismes de 1893 à 1898. La frèquence annuelle est passée de 43,00 à 93,92 et la sismicité de 16,03 à 11,02.

Quant à la Grèce avec un gain de 1385 secousses, la fréquence annuelle totale ne s'est augmentée que de 16. Mais toutes la régions ont vu leurs fréquences annuelles augmenter ou diminuer suffisamment pour qu'il y ait eu lieu de refaire tous les calculs de déterminations des sismicités. Cependant les régions n'ont guère changé d'ordre d'instabilité. Les résultats de ces calculs sont donnés dans le tableau suivant. Cela corrobore ce qui a été dit plus haut de la perpétuelle perfectibilité de cet «Essai de description sismique du globe» au moins pendant de longues années, tant que l'apport de documents nouveaux n'aura pas donné une cinquantaine d'années d'observations pour chaque région.

Cela montre aussi que les observations sismologiques n'étant pas homogènes d'une grande division du globe à une autre, ce n'est que dans l'intérieur de chacune d'elles qu'il faut comparer les instabilités relatives des diverses régions élémentaires qui les composent. Le tableau général n'aura une réelle valeur que beaucoup plus tard.

Numéros	Grèce Régions	Périodes d'observations	Nombres d'épicentres	Nombres de séismes	Fréquences annuelles sismologiques moyennes	Sismicités en kilomètres
I	Iles Ioniennes	1825—68 1875 1892—98	44	6392	98,97	6.18
II	Eubée et Sporades du nord	1857—78 1893—98	23	1344	44,00	9,70
—	Détroit de l'Euripe (régions II, IV) . .				81,97	11,94
—	Grèce au sud de l'Othrys (régions I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX) . . .				256,56	15,72
III	Corinthie et Argolide	1858—78 1886—88 1893—98	28	316	25,13	17,10
—	Grèce au sud de l'Olympe (régions I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX, X)				264,39	17,14
IV	Attique, Parnasse et Locride	1858—78 1893—98	50	2325	37,97	19.40
—	Golfes de Lépante et d'Egine (régions I, III, IV, V, VI)				198,34	19,61
—	Grèce du nord-ouest (région I, VI) . .				118,13	19,82
V	Achaïe	1860—76 1882—83 1887—88 1893—98	25	386	17,11	20,00
—	Côtes nord des golfes de Lépante et d'Egine (régions IV, VI)				57,13	21,18
—	Morée ou Péloponése (régions III, V, VII, VIII, IX)				56,46	23,03
VI	Acarnanie	1893—98	21	179	19,16	24,30
VII	Arcadie	1893—98	25	103	6,16	25,43
—	Morée méridionale (régions VII, VIII, IX)				14,22	33,37
VIII	Messénie	1893—98	22	108	3,83	37,01
IX	Laconie	1858—62 1876—77 1893—98	15	77	4,23	39,58
X	Thessalie	1863 1867—68 1893—98	14	101	7,83	39,70
XI	Crète ou Candie	1858—88	6	93	1,64	70,07
XII	— les Cyclades	1860—63 1867—74 1893—98	13	145	5,11	74,34
—	Séismes généraux ou mal déterminés .		8	33		
	Totaux . .		294	11022	271,14	



BIBLIOTHÈQUE UNIVERSELLE

ARCHIVES

DES

SCIENCES PHYSIQUES ET NATURELLES

TROISIÈME PÉRIODE

TOME XXV

N° 5. — 15 Mai 1891



GENÈVE

BUREAU DES ARCHIVES, RUE DE LA PÉLISSERIE, 18

ÉTUDE CRITIQUE

DES

LOIS DE RÉPARTITION SAISONNIÈRE DES SÉISMES

PAR

M. F. DE MONTESSUS DE BALLORE

Capitaine d'artillerie,

Inspecteur des études à l'École Polytechnique.

SOMMAIRE DES MATIÈRES CONTENUES DANS LA LIVRAISON DE MAI

Extrait des Archives des Sciences physiques et naturelles
Troisième période. t. XXV. — Mai 1891, p. 504.

ÉTUDE CRITIQUE

DES

LOIS DE RÉPARTITION SAISONNIÈRE DES SÉISMES

PAR

M. F. DE MONTESSUS DE BALLORE
Capitaine d'artillerie,
Inspecteur des études à l'École Polytechnique.

C'est une très ancienne opinion qu'il tremble plus en certaines saisons qu'en d'autres, Aristote (mét.) croyait l'automne et le printemps plus riches que les deux autres saisons en chocs terrestres. Pour ne citer que les plus illustres des sismologues modernes, il suffit de rappeler que Perrey et Mallet pour un grand nombre de régions, mais surtout européennes, Otto Volger pour la Suisse, Julius Schmidt pour l'Europe orientale, ont énoncé cette loi qu'il tremble plus en hiver qu'en été, et cela dans une notable proportion. Enfin, il est peu d'observateurs qui, publiant quelque catalogue sismique, même restreint, n'en ait conclu pour son pays en particulier une distribution saisonnière. Le peu de concordance des énoncés est déjà une preuve que ces lois ne sont pas générales.

Bi

Quoi qu'il en soit, l'existence d'une loi bien établie de répartition saisonnière des séismes aurait une importance considérable, car elle suffirait à elle seule à les faire ranger parmi les phénomènes météorologiques, opinion que je cherche à combattre depuis longtemps par la critique successive des nombreuses lois d'ordre cosmique ou météorologique que l'on énonce trop souvent encore à leur sujet.

Or, il faut bien le dire, toutes les statistiques antérieures pèchent par l'insuffisance notoire des chiffres mis en œuvre, car c'est seulement à notre époque que l'on dispose d'un nombre assez grand de documents vraiment scientifiques et surtout intéressant la plupart des parties du monde. Maintenant je possède un catalogue de 63,555 séismes, tous individuellement discutés, correspondant à 309 séries ou régions disséminées sur toute la surface du globe et bien délimitées au point de vue géographique toujours, au point de vue géologique souvent. Comme précédemment, les faits dus à la presse extrascientifique seulement ont été systématiquement exclus.

La première question à résoudre est de déterminer quel est le fait élémentaire le plus convenable à soumettre à la statistique. On a en effet le choix entre la secousse simple, le jour de tremblement de terre pour un lieu déterminé, et enfin ce que les sismologues suisses ont appelé « *tremblement de terre,* » c'est-à-dire l'ensemble de chocs accompagnant, avant ou après, une secousse dite principale, et pouvant même se réduire à un seul choc. La secousse simple a l'inconvénient d'apporter dans les statistiques des à-coups intolérables. On peut citer tel lieu, d'ailleurs peu sujet aux tremblements

de terre, où certains jours ont été signalés par 50, 100 chocs et plus. Cela suffit à créer de toutes pièces des maxima mensuels anormaux, que rien ne peut plus effacer. Le tremblement de terre défini comme l'ont fait les savants suisses, s'il est bien le plus souvent un ensemble de faits liés par la communauté de cause, et s'il présente de grands avantages pour les études monographiques, se prête mal à la statistique et, en outre, il est parfois malaisé d'en déterminer sans arbitraire le commencement et la fin. Le jour de séisme, signalé pour une région donnée par une ou plusieurs secousses, m'a décidément paru l'élément le plus convenable pour l'étude actuelle.

Des 43,054 jours de séismes ainsi compris, il a fallu défalquer les séries trop pauvres pour lesquelles le hasard des observations ne peut laisser se manifester aucune loi de répartition saisonnière; puis celles limitées à quelques mois (ex. : Simmenthal, avril à juillet 1885; Mariannes, janvier et février 1849; Philippines, août et septembre 1881, etc.), ou à quelques jours seulement (ex. : Ilopango, 20 au 31 décembre 1879). Dans les séries d'observateurs isolés il n'a été tenu compte que des années complètes. Enfin une simple correction a réduit tous les mois à un nombre uniforme de 30 jours. Ces précautions, inutiles à prendre dans l'étude précédente (*Archives*, nov. 1889) de la répartition diurne-nocturne des séismes et de leur relation émise par Perrey avec les passages de la lune au méridien, ont réduit la présente statistique à 165 séries avec 38,967 jours de séismes.

On ne s'occupera ici que des saisons astronomiques, avec inversion de 6 mois de part et d'autre de l'équateur par conséquent.

Un premier examen superficiel des tableaux détaillés montrerait que, s'il y a réellement une loi, il faut étendre les termes de l'énoncé de Perrey en disant qu'il semble trembler plus en automne et hiver qu'en été ou printemps.

Le résultat brut de la statistique suffit à faire rejeter la loi. 85 séries avec 20,258 jours de séismes s'y conforment, 80 avec 18,709 n'y satisfont point, ce qui est presque l'égalité à $\frac{1}{18}$ près du nombre total.

Mais il y a plus. Soient M et m les nombres maxima et minima de jours de séismes par saison pour chacune des 85 séries se conformant à la loi, et T le total correspondant. S'il y a une loi les rapports $\frac{M}{m}$ et $\frac{M-m}{T}$ tendront, dès que T sera suffisamment grand, vers des limites qui seront l'expression même de la loi. Or, on trouve bien des limites, mais elles sont respectivement 1 et 0. Classant les séries par intervalles de 100 en 100 jours, et construisant les moyennes des rapports $\frac{M}{m}$ et $\frac{M-m}{T}$ pour les séries qui tombent dans chacun de ces intervalles, on obtient deux courbes nettement asymptotiques aux droites 1 et 0 parallèles à l'axe des jours (Pl. V, fig. 1). L'asymptotisme serait encore plus marqué en considérant des régions comprenant un certain nombre de séries, *à fortiori* pour les continents. La démonstration de la non-existence de loi saisonnière devient rigoureuse et Mallet aurait pu la tirer des graphiques saisonniers qui accompagnent son fameux mémoire (Fourth report upon the facts and theory of carthquake phenomena, 1858).

Pour prévenir des objections possibles, il faut faire

intervenir le poids des observations en classant les séries comme il suit : 1° Séries d'observations indépendantes et sporadiques dans le temps ou séries historiques; 2° séries météorologiques résultant du dépouillement des recueils météorologiques; 3° séries d'observateurs isolés ayant résidé plus ou moins longtemps en un lieu et ayant noté soigneusement les secousses terrestres; 4° séries sismologiques dans les pays où les tremblements de terre sont l'objet suivi des études de sociétés spéciales (Suisse, Italie, Japon, Indes Néerlandaises ou Insulide, Philippines); 5° séries d'observatoires géodynamiques (certaines villes d'Italie, Orizaba, Manille); 6° et 7° séries de microséismes ou secousses seulement sensibles aux instruments sismographiques, par région ou par observatoires géodynamiques, et correspondant aux intensités I et II de l'échelle Rossi-Forel.

S'il y a une loi saisonnière, elle sera d'autant plus nettement vérifiée qu'il s'agira de groupes d'un poids scientifique plus élevé. Or, il n'en est rien.

1° 59 séries historiques avec 12,012 jours de séismes suivent la loi de Perrey, contre 52 qui n'y satisfont point avec 9,328 jours. 2° Il y a 8 séries météorologiques avec 4,353 jours; aucune ne suit la loi, et cependant il en est qui, par le nombre d'années qu'elles embrassent et le soin avec lequel elles ont été faites, ont, comme le Chili et l'Insulide, par exemple, une valeur tout à fait comparable à celle des séries sismologiques. 3° 9 séries d'observateurs avec 2,947 jours se conforment à la loi et 3 avec 1,544 jours non. Noter en passant que la grande série de Barbiani à Zante (1825-1864) ne m'a pas donné exactement la même répartition qu'à Perrey. 4° 7 séries sismologiques avec 2,315 jours suivent la loi, 10 avec

1660 jours non. Il est à remarquer que la riche série japonaise de 1,127 jours fait partie des premières, mais le rapport $\frac{M - m}{T}$ n'a qu'une très faible valeur 0,09, ce qui suffit à diminuer beaucoup l'appui que cette constatation semblerait tout d'abord apporter à l'exactitude de la loi. Les autres séries sismologiques se départagent, celles de la Suisse se conformant à la loi, celles de l'Insulide et la plupart de celles d'Italie non. Si l'on adjoint à cette classe les séries météorologiques du Chili et de l'Insulide (1,674 et 2,398 jours respectivement), comme on le disait plus haut, on voit que cette classe, sur laquelle devaient compter les partisans des lois saisonnières, est loin de favoriser leurs espérances. 5° Les observations géodynamiques donnent 4 séries avec 727 jours de séismes en faveur de la loi, et 2 avec 526 jours contre. 6° 3 séries italiennes de 691 jours de microséismes par régions ne se conforment pas à la loi. 7° 6 séries de microséismes par observatoires géodynamiques avec 2,263 jours se conforment à la loi, et 2 seulement avec 601 jours ne la suivent pas. Ce dernier résultat doit attirer l'attention, les secousses instrumentables étant d'une grande importance. Mais j'ai montré dans l'étude déjà citée que ces secousses présentent en l'état actuel des observations une cause d'erreur profonde, de sorte que l'appui que cette dernière classe semble apporter à la loi de Perrey se trouve de ce fait bien mitigé, d'autant plus que là encore les rapports $\frac{M}{m}$ et $\frac{M - m}{T}$ sont extrêmement faibles.

En résumé, on ne trouve pas que la répartition saisonnière de Perrey soit d'autant mieux vérifiée qu'il

s'agisse de groupes de séries de plus grand poids, et en outre la lecture seule de la table suivante montre que dans une même grande région géographique, l'Italie par exemple, toutes les répartitions saisonnières se rencontrent pour les diverses séries qui la constituent.

Voici le détail des 165 séries :

I. SÉRIES HISTORIQUES

1. *Conformes à la loi.*

Angleterre, côtes de la Manche — Angleterre, centre et nord — France, Saône et Rhône — Pyrénées, versant français — Provence — Andalousie — Portugal — Pyrénées, versant espagnol — Suède — Pays-Bas — Rhin moyen, Taunus et Hundsrück — Westphalie et Hanovre — Wurtemberg, Schwarzwald et Souabe — Odenwald — Thuringe, Fichtelgebirge et Erzgebirge — Croatie et Esclavonie — Bas Danube — Albanie et Epire — Bosnie et Herzégovine — Eubée — Crète et Cyclades — Iles Ioniennes — Savoie — Basse Suisse — Haute Suisse — Tyrol et Vorarlberg — Carinthie et Pusterthal — Autriche proprement dite — Carniole — Haute Italie orientale — Émilie et Romagnes — Marches, Ombrie et Abruzzes — Naples et Bénévent — Calabres — Russie.

Perse — Turkestan — Caucase — Syrie et Palestine — Sibérie — Côtes de la mer de Behring, Kouriles, Kamtschatka et Alaska — Grandes Sporades — Japon, documents européens.

États Barbaresques, Tunisie, Algérie et Maroc.

Canada — Versant oriental des Alleghanys — Californie et Colombie Britannique — Cuba — Salvador —

Honduras, Belize, Nicaragua, Costarica et Darien — Andes du Vénézuela — Côtes orientales de l'Amérique du sud — Écuador — Pérou, centre et nord — Pérou, sud.

Gilolo, Ternate et Makian — Philippines — Tasmanie et Australie — Polynésie.

2. *Non conformes à la loi.*

Islande — Loch Earn et Perthshire — France, côtes de l'Atlantique — France, frontières du nord et de l'est — France, côtes de la Manche — France, plateau central — Province de Valence — Norvège — Bade — Petites et grandes Karpathes — Istrie — Dalmatie — Côtes de la mer Egée, Macédoine — Péloponèse — Roumélie hellénique — Styrie — Lombardie, Piémont et Ligurie — Toscane — Latium et Terre de Labour — Basilicate — Etna.

Arménie — Côtes de la mer de Marmara — Côtes occidentales d'Anatolie — Anatolie centrale — Indoustan — Chine, documents indigènes, série de Biot — Chine, documents européens — Japon, documents indigènes, série de Milne.

Bassin du Nil — Région volcanique de Daussy (0° à 3° lat. S; 18° à 26° long. O. Paris) — Açores, Madère, Iles du Cap-Vert — Mascareignes et Madagascar.

Bassin du Mississipi — Mexique, séismes de grande extension — Xalisco et Queretaro — Michoacan et Guerrero — Mexico et Vera-Cruz — Petites Antilles — Haïti — Iles sous le vent et Trinidad — Jamaïque — Saint-Thomas — Guatémala — Côtes du Vénézuela — Colombie — Région andine de la République argentine.

Sandwich — Chaîne d'îles de Bali à Timor — Petites Moluques — Nouvelle Zélande.

II. SÉRIES MÉTÉOROLOGIQUES

2. *Non conformes à la loi.*

Assam — Chili, centre — Chili, nord — Philippines — Sumatra — Java — Célèbes et Sanguir — Petites Moluques.

III. SÉRIES D'OBSERVATEURS

1. *Conformes à la loi.*

Série de Mac-Farlane à Comrie, Écosse, 1839 à 1843 — Série de Daas à Lunroë, Norvège, 1819 à 1829 — Série de Nœggerath à Grossgerau, Odenwald, 1869 à 1872 — Série de Manzell à Chalcis, Eubée, 1859 à 1878 — Observations de Tscheinen et Lehner en Haut-Valais, 1855 à 1868 — Série d'Arcorito à Reggio, Calabre, 1844 à 1852 — Série de Scaglione à Cosenza, 1854 à 1868 — Observations faites à Arequipa de 1810 à 1846 et recueillies par de Castelnau — Série de Tirel à Tacna et Arica, 1862 à 1869.

2. *Non conformes à la loi.*

Série de Barbiani à Zante de 1825 à 1864 — Série de Sainte-Claire Deville et Lespine à la Pointe-à-Pitre, 1843 à 1845 — Série de Mrs Lymann à Hilo, Hawai, 1843 à 1868.

IV. SÉRIES SISMOLOGIQUES.

1. *Conformes à la loi.*

Basse Suisse — Haute Suisse — Lombardie, Piémont et Ligurie — Émilie et Romagnes — Calabres.

2. *Non conformes à la loi.*

Trentin et Lac de Garde — Bellunois — Marches, Ombrie et Abruzzes — Toscane — Latium et Terre de Labour — Etna — Philippines — Sumatra — Java — Petites Moluques.

V. SÉRIES D'OBSERVATOIRES GÉODYNAMIQUES

1. *Conformes à la loi.*

Rome — Monte Cassino — Vésuve — S. Giov. in Galilea.

2. *Non conformes à la loi.*

Cascia — Corleone.

VI. MICROSÉISMES DE RÉGIONS.

2. *Non conformes à la loi.*

Italie continentale — Italie centrale — Italie méridionale.

VII. MICROSÉISMES D'OBSERVATOIRES GÉODYNAMIQUES

1. *Conformes à la loi.*

Narni — Rome — Velletri — Vérone — Spinea di Mestre — Orizaba.

2. *Non conformes à la loi.*

Rocca di Papa — Bologne et San Luca.

Une dernière vérification a été demandée aux secousses désastreuses des intensités IX et X de l'échelle Rossi-Forel. Là encore il n'a été trouvé aucune répartition saisonnière conforme à la loi de Perrey.

En divisant l'année par périodes de 5 jours, on a pu rechercher si les solstices et les équinoxes donnent lieu à des maxima, comme le fait a été maintes fois énoncé, mais à la vérité avec moins d'assurance que pour le maximum hivernal. Le tableau suivant du nombre de fois que pour les 309 séries les périodes de 5 jours qui comprennent ces 4 points particuliers correspondent à des maximums relativement aux périodes de 5 jours immédiatement précédentes et suivantes, montre qu'il n'en est rien. Les nombres obtenus sont à peine ceux qu'aurait pu faire prévoir le calcul des probabilités.

Équinoxe de printemps. .	23
Solstice d'été.	8
Équinoxe d'automne. . .	24
Solstice d'hiver	18

Il y avait lieu de se demander comment les diverses zones de latitude se comportent relativement à la loi saisonnière incriminée, et avec d'autant plus de raison que ce grand sismologue ayant soumis à ses statistiques surtout des régions européennes, on pourrait croire que sa loi est au moins vraie pour ce continent. Le classement des séries a été fait de 10 en 10° de latitude, de 70° L. N. à 50° L. S. En portant en ordonnées les nombres de jours de séismes correspondants, on obtient un graphique présentant de 35 à 40° L. N. un énorme maximum et qui s'abaisse assez régulièrement à ses deux extrémités.

Cette forme était à prévoir. En effet, la zone boréale tempérée comprend des régions comme l'Europe et l'Asie occidentale où une très ancienne civilisation et une culture très généralisée ont permis une grande accumulation de documents scientifiques de toute nature. C'est aussi à ces latitudes qu'est le plus grand le rapport des surfaces terrestres aux surfaces océaniques. Au nord de cette zone on atteint des régions peu habitées par suite de la rigueur du climat, et au sud s'étendent des terres qui se terminent en pointe vers le pôle austral et pour lesquelles la civilisation a été d'autant plus tardive qu'on s'éloigne du nord et pour lesquelles diminue graduellement le rapport des surfaces solides et maritimes. Par elle-même cette courbe n'a qu'une importance secondaire. Il n'en est pas de même de celle qu'on obtient en portant sur chacune de ses ordonnées le rapport du nombre des jours de séismes conformes à la loi de Perrey à ceux non conformes. Si la loi est exacte, cette seconde courbe se rapprochera plus ou moins de celle qu'on obtiendrait par réduction des ordonnées de la première en fonction des limites que cette exactitude imposerait aux rapports $\frac{M}{m}$ et $\frac{M-m}{T}$. Si la loi est fausse, pour chaque zone de 10° l'égalité des nombres de jours de séismes conformes à la loi et de ceux non conformes sera l'hypothèse la plus probable, le hasard devant présider seul à leur répartition en latitude, et l'on se rapprochera d'une parallèle à l'axe des latitudes à la distance 1 ; cela suppose du moins que dans chaque zone les nombres en jeu sont suffisamment considérables. Or, ni l'une ni l'autre de es deux formes ne se réalise. On obtient une courbe de forme analogue à celle de la première, mais avec un

maximum boréal tempéré beaucoup plus accusé encore et un peu plus septentrional. Ce résultat singulier aurait pour interprétation immédiate que la loi de Perrey est exacte entre 35 et 45° L. N., mais devient de plus en plus fausse à mesure qu'on s'avance vers les pôles. Or cette conclusion est invraisemblable, et la forme de la courbe provient de ce que, par zones, les nombres de jours de séismes sont insuffisants en partie. Voyons en effet le détail de ce qui se passe. L'hémisphère austral présente des séries peu nombreuses, mais très riches en nombre de jours de séismes, avec tendance marquée par conséquent à donner à la zone de latitude dont elles font partie leur propre caractéristique saisonnière. Ainsi le Chili et l'Insulide ne suivent pas la loi, tandis que le Pérou (1,527 jours) y satisfait. Puis vient le grand centre sismique constitué par le golfe du Mexique avec le Vénézuela, la Colombie, les Antilles, le Centre-Amérique et le Mexique. Là un plus grand nombre de séries ou de régions entraîne une plus grande variété dans leur manière de se comporter par rapport à la loi. Quant au grand maximum de la zone boréale tempérée, il est principalement constitué par l'Europe, où prédominent trois grandes divisions sismiques : Massif des Alpes, 35 séries et 3,181 jours; Péninsules Balkanique et Grecque avec l'Anatolie, 19 séries et 6,945 jours; Italie, 37 séries et 11,737 jours. Les deux derniers groupes et la Californie (901 jours) se neutralisent mutuellement et il reste le massif des Alpes, qui contribue pour la plus large part à donner à la zone considérée une caractéristique saisonnière conforme à la loi de Perrey. Ainsi s'explique le mystérieux maximum de la seconde courbe.

Cette particularité du massif des Alpes pourra surprendre. Elle représente à peu près la différence entre



les nombres de jours de séismes satisfaisant à la loi (20,258) et n'y satisfaisant pas (18,709). Il pourrait se faire qu'il s'agisse là d'une simple apparence due aux conditions physiologiques de l'observation des tremblements de terre. Dans cette région à longs hivers, le repos général des populations réfugiées dans leurs chalets peut largement augmenter dans cette saison le nombre des séismes observés. Bien des avalanches peuvent donner lieu à des vibrations terrestres. C'est là un sujet que je ne fais qu'effleurer.

Toutes ces considérations concordantes entre elles montrent bien que la répartition saisonnière des séismes énoncée par Perrey et toutes celles du même genre, doivent être définitivement abandonnées et considérées comme de simples accidents de statistiques insuffisantes. Ce ne sont pas des lois naturelles.

Si les saisons astronomiques n'ont aucune relation avec les séismes et réciproquement, il peut à la rigueur se faire qu'il n'en soit pas ainsi des saisons météorologiques. Je ne le pense point, mais il y aura lieu de vérifier si celles-ci, avec leurs phénomènes de température, de pression barométrique, de hauteur d'eau pluviale, etc., variables avec les conditions géographiques, ne montreraient pas quelques relations, comme le pensent certains sismologues.

EXPLICATION DE LA PLANCHE V

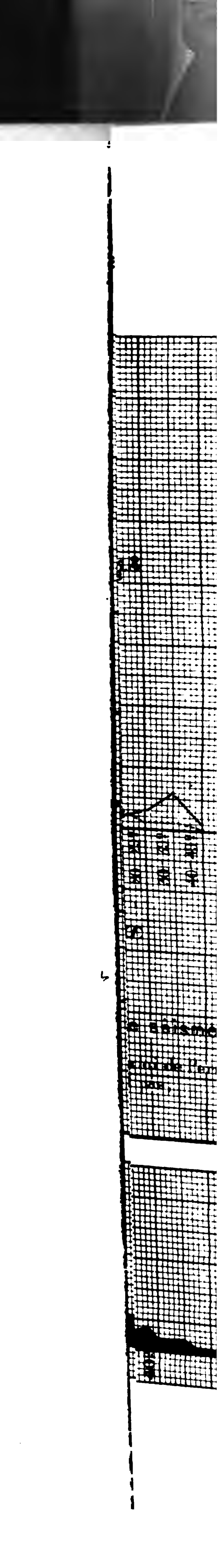
Fig. 1. Asymptotisme vers 1 et 0 des rapports $\frac{M}{m}$ et $\frac{M-m}{T}$.

Fig. 2. Distribution des régions sismiques en latitude.

Fig. 3. Nombre de jours de séismes et rapport du nombre de ceux suivant la loi de Perrey au nombre de ceux ne la suivant pas par latitudes.

—

Répartition mensuelle des séismes pour le massif des Alpes, la France et l'Italie.





Asymptotisme vers 1 et 0
des rapports $\frac{M}{m}$ et $\frac{M-m}{T}$

0 0 1.0 2.0 3.0
00 0.10 0.20 0.30
0.25
2.6
100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000 1100 1200 1300 1400 1500 1600 1700 1800 1900 2000 2100 2200 2300 2400 2500 2600 2700 2800 2900 3000

$\frac{M-m}{T}$ $\frac{M}{m}$

0.05 1.1

Fig. 1

séismes
loi de Perrey
pas.

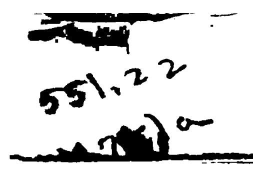
Sud

LITH S DUC, GENÈVE

MAI 1891

Genève, — Imp. Aubert-Schuchardt.

XIII-16



MEMORIAS DE LA SOCIEDAD "ALZATE" DE MEXICO.—TOMO IV.

ÉTUDE CRITIQUE

DES LOIS DE

RÉPARTITION SAISONNIÈRE DES SÉISMES

PAR

F. DE MONTESSUS DE BALLORE,

Capitaine d'Artillerie, Inspecteur des études à l'École Polytechnique.

C'est une très ancienne opinion qu'il tremble plus en certaines saisons qu'en d'autres. ARISTOTE (mét.) croyait l'automne et le printemps plus riches que les deux autres saisons en chocs terrestres. Pour ne citer que les plus illustres des sismologues modernes, il suffit de rappeler que PERREY et MALLET pour un grand nombre de régions, mais surtout européennes, OTTO VOLGER pour la Suisse, JULIUS SCHMIDT pour l'Europe orientale, ont énoncé cette loi qu'il tremble plus en hiver qu'en été, et cela dans une notable proportion. En fin il est peu d'observateurs, qui, publiant quelque catalogue sismique même restreint, n'en aient conclu pour leur pays en particulier une distri-

bution saisonnière. Le peu de concordance des énoncés est déjà une preuve que ces lois ne sont pas générales.

Quoiqu'il en soit, l'existence d'une loi bien établie de répartition saisonnière des séismes aurait une importance considérable, car elle suffirait à elle seule à les faire ranger parmi les phénomènes météorologiques, opinion que je cherche à combattre depuis longtemps par la critique successive des nombreuses lois d'ordre cosmique ou météorologique que l'on énonce trop souvent encore à leur sujet.

Or, il faut bien le dire, toutes les statistiques antérieures pèchent par l'insuffisance notoire des chiffres mis en œuvre; car c'est seulement à notre époque que l'on dispose d'un nombre assez grand de documents vraiment scientifiques et surtout intéressant la plupart des parties du monde. Maintenant je possède un catalogue de 63,555 séismes, tous individuellement discutés, correspondant à 309 séries on régions disséminées sur toute la surface du globe, et bien délimitées au point de vue géographique toujours, au point de vue géologique souvent. Comme précédemment, les faits dûs à la presse extrascientifique seulement ont été systématiquement exclus.

La première question à résoudre est de déterminer quel est le fait élémentaire le plus convenable à soumettre à la statistique. On a, en effet, le choix entre la secousse simple, le jour de tremblement de terre pour un lieu déterminé, et enfin ce que les sismologues suisses ont appelé «tremblement de terre,» c'est-à-dire l'ensemble de chocs accompagnant, avant ou après, une secousse dite principale, et pouvant même se réduire à un seul choc. La secousse simple a l'inconvénient d'apporter dans les statistiques des à-coups intolérables. On peut citer tel lieu, d'ailleurs peu sujet aux tremblements de terre, où certains jours ont été signalés par 50, 100 chocs et plus. Cela suffit à créer de toutes pièces des maxima mensuels anormaux, que rien ne peut plus effacer. Le tremblement de terre défini comme l'ont fait les savants suisses, s'il est bien le plus souvent un ensemble de faits liés par la communauté de cause, et s'il présente de grands



avantages pour les études monographiques, se prête mal à la statistique, et en outre il est parfois malaisé d'en déterminer sans arbitraire le commencement et la fin. Le jour de séisme, signalé pour une région donnée par une ou plusieurs secousses, m'a décidément paru l'élément le plus convenable pour l'étude actuelle.

Des 43,054 jours de séismes ainsi compris, il a fallu défalquer les séries trop pauvres pour lesquelles le hasard des observations ne peut laisser se manifester aucune loi de répartition saisonnière; puis celles limitées à quelques mois (ex.: Simmenthal, Avril à Juillet 1885; Mariannes, Janvier à Février 1849; Philippines, Août et Septembre 1881, etc.), ou à quelques jours seulement (ex.: Ilopango, 20 au 31 Décembre 1879). Dans les séries d'observateurs isolés il n'a été tenu compte que des années complètes. Enfin une simple correction a réduit tous les mois à un nombre uniforme de 30 jours. Ces précautions, inutiles à prendre dans l'étude précédente (*Memorias*, T. III, pág. 105, et Archives Nov. 1889) de la répartition diurne-nocturne des séismes, et de leur relation émise par Perrey avec les passages de la lune au méridien, ont réduit la présente statistique à 165 séries avec 38,967 jours de séismes.

On ne s'occupera ici que des saisons astronomiques, avec inversion de 6 mois de part et d'autre de l'équateur par conséquent.

Un premier examen superficiel des tableaux détaillés montrerait que, s'il y a réellement une loi, il faut étendre les termes de l'énoncé de Perrey en disant qu'il semble trembler plus en automne et hiver qu'en été ou printemps.

Le résultat brut de la statistique suffit à faire rejeter la loi. 85 séries avec 20,258 jours de séismes s'y conforment, 80 avec 18,709 n'y satisfont point, ce qui est presque l'égalité à $\frac{1}{15}$ près du nombre total.

Mais il y a plus. Soient M et m les nombres maxima et minima de jours de séismes par saison pour chacune des 85 séries se conformant à la loi; et T le total correspondant. S'il y a une

loi les rapports $\frac{M}{m}$ et $\frac{M-m}{T}$ tendront, dès que T sera suffisamment grand, vers des limites qui seront l'expression même de la loi. Or on trouve bien des limites, mais elles sont respectivement 1 et 0. Classant les séries par intervalles de 100 en 100 jours, et construisant les moyennes des raports $\frac{M}{m}$ et $\frac{M-m}{T}$ pour les séries qui tombent dans chacun de ces intervalles, on obtient deux courbes nettement asymptotiques aux droites 1 et 0 parallèles à l'axe des jours. L'asymptotisme serait encore plus marqué en considérant des régions comprenant un certain nombre de séries, à fortiori pour les continents. La démonstration de la non-existence de la loi saisonnière devient rigoureuse, et MALLET aurait pu la tirer des graphiques saisonniers qui accompagnent son fameux mémoire *(Fourth report upon the facts and theory of earthquake phenomena, 1858).*

Pour prévenir des objections possibles, il faut faire intervenir le poids des observations en classant les séries comme il suit: 1°, séries d'observations indépendantes et sporadiques dans le temps, ou séries historiques; 2°, séries météorologiques résultant du dépouillement des recueils météorologiques; 3°, séries d'observateurs isolés ayant résidé plus ou moins longtemps en un lieu et ayant noté soigneusement les secousses terrestres; 4°, séries sismologiques dans les pays où les tremblements de terre sont l'objet suivi des études des sociétés spéciales (Suisse, Italie, Japon, Indes Néerlandaises ou Insulide, Philippines); 5°, séries d'observatoires géodynamiques (certaines villes d'Italie, Orizaba, Manille); 6° et 7°, séries de microséismes ou secousses seulement sensibles aux instruments sismographiques, par région ou par observatoires géodynamiques, et correspondant aux intensités *I* et *II* de l'échelle Rossi–Forel.

S'il y a une loi saisonnière elle sera d'autant plus nettement verifiée qu'il s'agira de groupes d'un poids scientifique plus élevé. Or il n'en est rien.

1°—59 séries historiques avec 12,012 jours de séismes suivent la loi de Perrey, contre 52 qui n'y satisfont point avec

9,328 jours. 2°—Il y a 8 séries météorologiques avec 4,353 jours; aucune ne suit la loi; et cependant il en est qui, par le nombre d'années qu'elles embrassent et le soin avec lequel elles ont été faites, ont comme le Chili et l'Insulide par exemple, une valeur tout-à-fait comparable à celle des séries sismologiques. 3°—9 séries d'observateurs avec 2,947 jours se conforment à la loi, et 3 avec 1,544 non. Noter en passant que la grande série de Barbiani à Zante (1825-1864) ne m'a pas donné exactement la même répartition qu'à Perrey. 4°—7 séries sismologiques avec 2,315 jours suivent la loi, 10 avec 1,666 jours non. Il est à remarquer que la riche série japonaise de 1,127 jours fait partie des premières, mais le rapport $\frac{M-m}{T}$ n'a qu'une très faible valeur 0.09, ce qui suffit à diminuer beaucoup l'appui que cette constatation semblerait tout d'abord apporter à l'exactitude de la loi. Les autres séries sismologiques se départagent, celles de la Suisse se conformant à la loi, celles de l'Insulide et la plupart de celles d'Italie non. Si l'on adjoint à cette classe les séries météorologiques du Chili et de l'Insulide (1,674 et 2,398 jours respectivement), comme on le disait plus haut, on voit que cette classe, sur laquelle devaient compter les partisans des lois saisonnières, est loin de favoriser leurs espérances. 5°—Les observatoires géodynamiques donnent 4 séries avec 727 jours de séismes en faveur de la loi, et 2 avec 526 jours contre. 6°—3 séries italiennes de 691 jours de microséismes par régions ne se conforment pas à la loi. 7°—6 séries de microséismes par observatoires géodynamiques avec 2,263 jours se conforment à la loi, et 2 seulement avec 601 jours ne la suivent pas. Ce dernier résultat doit attirer l'attention, les secousses instrumentales étant d'une grande importance. Mais j'ai montré dans l'étude déjà citée, que ces secousses présentent en l'état actuel des observations une cause d'erreur profonde, de sorte que l'appui que cette dernière classe semble apporter à la loi de Perrey, se trouve de ce fait bien mitigé, d'autant plus que là encore les rapports $\frac{M}{m}$ et $\frac{M-m}{T}$ sont extrêmement faibles.

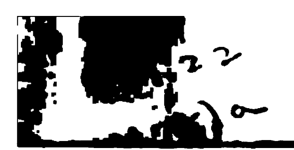
[illegible]

[illegible]—Hongrie.—[illegible]—Grèce et Cyclades.—[illegible]—Basse [illegible]—Haute [illegible]—Tyrol et [illegible]—[illegible] et Piémont.—[illegible] proprement [illegible]—Haute Italie centrale.—[illegible] et [illegible]. [illegible] et [illegible].—[illegible] et [illegible].—[illegible]

[illegible]—Turkestan.—[illegible]—Syrie et Palestine.—Si-[illegible].—[illegible] mer de Behring, Kouriles, Kamtschatka et [illegible].—[illegible] Spatules.—[illegible]

[illegible] Tunisie, Algérie et Maroc.

Canada.—Versant oriental des Alleghanys.—Californie et Colombie Britannique.—Cuba.—Salvador.—Honduras, Belize, Nicaragua, Costa Rica et Darien.—Andes de Venezuela—Côtes orientales de l'Amérique du Sud.—Ecuador—Perou, centre et nord.—Pérou, sud.



Gilolo, Ternate et Makian.—Philippines.—Tasmanie et Australie.—Polynésie.

2.—Non conformes à la loi.

Islande.—Loch Earn et Perthshire.—France, côtes de l'Atlantique.—France, frontières du nord et de l'est.—France, côtes de la Manche.—France, plateau central.—Province de Valence.—Norvège.—Bade.—Petites et grandes Karpathes. —Istrie.—Dalmatie.—Côtes de la mer Égée, Macédoine.—Péloponèse.—Roumélie hellénique.—Styrie.—Lombardie, Piémont et Ligurie.—Toscane.—Latium et Terre de Labour.—Basilicate.—Etna.

Arménie.—Côtes de la mer de Marmara.—Côtes occidentales d'Anatolie.—Anatolie centrale.—Hindoustan.—Chine, documents indigènes, série de Biot.—Chine, documents européens.—Japon, documents indigènes, série de Milne.

Bassin du Nil.—Région volcanique de Danssy (0° à 3° lat. S; 18 à 26° long. O. Paris).—Açores, Madère, iles du Cap Vert.—Mascareignes et Madagascar.

Bassin du Mississipi.—Mexique, séismes de grande extension.—Jalisco et Querétaro.—Michoacán et Guerrero.—México et Veracruz.—Petites Antilles.—Haïti.—Iles sous le vent, Trinidad.—Jamaïques.—Saint-Thomas.—Guatémala.—Côtes de Venezuela.—Colombie.—Région andine de la République Argentine.

Sandwich.—Chaine d'iles de Balè à Timor.—Petites Moluques.—Nouvelle Zélande.

II. Séries météorologiques.

2.—Non conformes à la loi.

Assam.—Chili, centre.—Chili, nord.—Philippines.—Sumatra.—Java.—Celebes et Sanguir.—Petites Moluques.

III. Séries d'observateurs.

1.— Conformes à la loi.

Série de Mac-Farlane à Comrie, Écosse, 1839 à 1843.—Série de Daas à Lunröe, Norvège, 1819 à 1829.—Série de Noeggerath à Grossgerau, Odenwald, 1869 à 1872.—Série de Manzell à Chalcis, Eubée, 1859 à 1878.—Observations de Tschemèn et Lehner en Oberwallis, 1855 à 1868.—Série d'Arcorito à Reggio. Calabre, 1844 à 1852.—Série de Scaglione à Cosenza, 1854 à 1868.—Observations faites à Arequipa de 1810 á 1846 et recueillies par de Castelnau.—Série de Tirel à Tacna et Aricos, 1862 à 1869.

2.—Non conformes à la loi.

Série de Barbiani à Zante de 1825 à 1864.—Série de Sainte Claire Deville et Lespine à la Pointe-à-Pitre, 1843 à 1845.—Série de M[me] Lymann à Hilo, Hawai, 1843 à 1868.

IV. Séries sismologiques.

1.— Conformes à la loi.

Basse Suisse.—Haute Suisse.—Lombardie, Piémont et Ligurie.—Émilie et Romagnes.—Calabres.

2.—Non conformes à la loi.

Trentin et lac de Garde.—Bellimois.—Marches, Ombrie et Abruzzes.—Toscane.—Latium et Terre de Labour.—Etna.—Philippines.—Sumatra.—Java.—Petites Moluques.

V. Séries d'observatoires géodynamiques.

1.— Conformes à la loi.

Rome.—Monte Cassino.—Vésuve.—S. Giov. in Galilea.

2.—Non conformes à la loi.

Cascia.—Corleone.

VI. Microséismes de régions.

2.—Non conformes à la loi.

Italie continentale.—Italie centrale.—Italie méridionale.

VII. Microséismes d'observatoires géodynamiques.

1.—Conformes à la loi.

Narni.—Rome.—Velletri.—Vérone.—Spinea di Mestre.—Orizaba.

2.—Non conformes á la loi.

Rocca di Papa.—Bologne et San Luca.

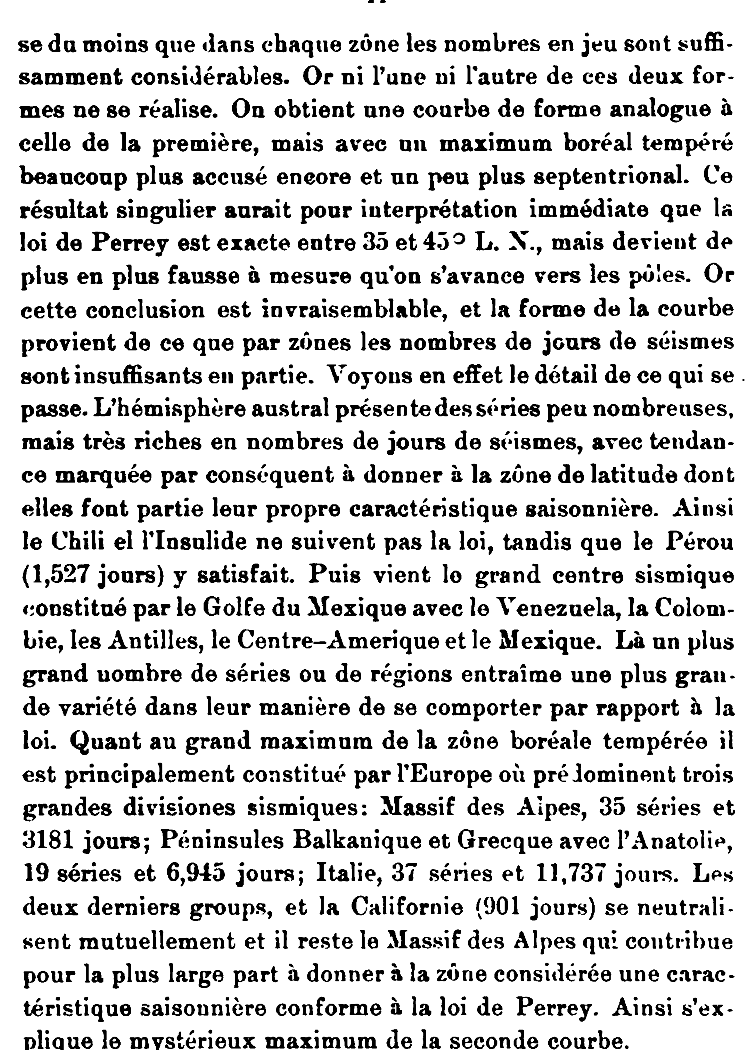
Une dernière vérification a été demandée aux secousses désastreuses des intensités *IX* et *X* de l'échelle Rossi-Forel. Là encore il n'a été trouvé aucune répartition saisonnière conforme à la loi de Perrey.

En divisant l'année par périodes de 5 jours on a pu rechercher si les solstices et les équinoxes donnent lieu à des maxima, comme le fait a été maintes fois énoncé, mais à la vérité avec moins d'assurance que pour le maximum hivernal. Le tableau suivant du nombre de fois que pour les 309 séries les périodes de 5 jours qui comprennent ces 4 points particuliers, correspondent à des maxima relativement aux périodes de 5 jours immédiatement précédentes et suivantes, montre qu'il n'en est rien. Les nombres obtenus sont à peine ceux qu'aurait pu faire prévoir le calcul des probabilités.

Équinoxe de printemps	23
Solstice d'été	8
Équinoxe d'automne	24
Solstice d'hiver	18

[illegible] degrés de latitude de [illegible] L. N. à [illegible] L. S. En [illegible] correspondants [illegible] groupe provenant de [illegible] à [illegible] L. N. [illegible] l'Europe et l'Asie [illegible] une grande [illegible] sismiques [illegible]. C'est aussi à ces latitudes qu'est maximum le rapport des surfaces terrestres aux surfaces océaniques. Au [illegible] la zone [illegible] et les régions [illegible] par suite de [illegible] et au sud s'étendent les terres qui se terminent en pointe vers le pôle austral et pour lesquelles la [illegible] d'autant plus [illegible] qu'on s'éloigne du nord et pour lesquelles diminue graduellement le rapport des surfaces solides et maritimes. Par elle-même cette courbe n'a qu'une importance secondaire. Il n'en est pas de même de celle qu'on obtient en portant sur chacune de ses ordonnées le rapport des nombres de jours de séismes conformes à la loi de Perrey à ceux non conformes. Si la loi est exacte, cette seconde courbe se rapprochera plus ou moins de celle qu'on obtiendrait par [illegible] des ordonnées de la première en fonction des limites que cette exactitude imposerait aux rapports $\frac{M}{I}$ et $\frac{M-m}{I}$.

Si la loi est fausse, pour chaque zone de 10°, l'égalité des nombres de jours de séismes conformes à la loi et de ceux non conformes sera l'hypothèse la plus probable, le hasard devant présider seul à leur répartition en latitude, et l'on se rapprochera d'une parallèle à l'axe des latitudes à la distance 1 : cela suppo-



se du moins que dans chaque zône les nombres en jeu sont suffisamment considérables. Or ni l'une ni l'autre de ces deux formes ne se réalise. On obtient une courbe de forme analogue à celle de la première, mais avec un maximum boréal tempéré beaucoup plus accusé encore et un peu plus septentrional. Ce résultat singulier aurait pour interprétation immédiate que la loi de Perrey est exacte entre 35 et 45° L. N., mais devient de plus en plus fausse à mesure qu'on s'avance vers les pôles. Or cette conclusion est invraisemblable, et la forme de la courbe provient de ce que par zônes les nombres de jours de séismes sont insuffisants en partie. Voyons en effet le détail de ce qui se passe. L'hémisphère austral présente des séries peu nombreuses, mais très riches en nombres de jours de séismes, avec tendance marquée par conséquent à donner à la zône de latitude dont elles font partie leur propre caractéristique saisonnière. Ainsi le Chili el l'Insulide ne suivent pas la loi, tandis que le Pérou (1,527 jours) y satisfait. Puis vient le grand centre sismique constitué par le Golfe du Mexique avec le Venezuela, la Colombie, les Antilles, le Centre-Amerique et le Mexique. Là un plus grand nombre de séries ou de régions entraîme une plus grande variété dans leur manière de se comporter par rapport à la loi. Quant au grand maximum de la zône boréale tempérée il est principalement constitué par l'Europe où prédominent trois grandes divisiones sismiques: Massif des Alpes, 35 séries et 3181 jours; Péninsules Balkanique et Grecque avec l'Anatolie, 19 séries et 6,945 jours; Italie, 37 séries et 11,737 jours. Les deux derniers groups, et la Californie (901 jours) se neutralisent mutuellement et il reste le Massif des Alpes qui contribue pour la plus large part à donner à la zône considérée une caractéristique saisonnière conforme à la loi de Perrey. Ainsi s'explique le mystérieux maximum de la seconde courbe.

Cette particularité du Massif des Alpes pourra surprendre. Elle représente à peu près la différence entre les nombres de jours de séismes satisfaisant à la loi (20,258) et n'y satisfaisant pas (18,709). Il pourrait se faire qu'il s'agisse là d'une simple

apparence due aux conditions physiologiques de l'observation des tremblements de terre. Dans cette région à longs hivers le repos général des populations réfugiées dans leurs chalets peut largement augmenter dans cette saison le nombre de séismes observés. Bien des avalanches peuvent donner lieu à des vibrations terrestres. C'est là un sujet que je ne fais qu' effleurer.

Toutes ces considérations concordantes entre elles montrent bien que la répartition saisonnière des séismes énoncée par Perrey, et toutes celles du même genre, doivent être définitivement abandonnées, et considérées comme de simples accidents de statistiques insuffisantes. Ce ne sont pas des lois naturelles.

Si les saisons astronomiques n'ont aucune relation avec les séismes et réciproquement, il peut à la rigueur se faire qu'il n'en soit pas ainsi des saisons météorologiques. Je ne le pense point, mais il y aura lieu de vérifier si celles-ci avec leurs phénomènes de température, de pression barométrique, de hauteur d'eau pluviale, etc., variables avec les conditions géographiques, ne montreraient pas quelque relation, comme le pensent certains sismologues.

TABLEAU I.

Répartition saisonnière des séismes pour l'Amérique du Nord.

REGIONS.	Hiver.	Printemps.	Eté.	Automne.	Totaux.	$\frac{M}{m}$	$\frac{M-m}{T}$
Canada	27	25	20	24	96	1,3	0,07
Bassin du Mississipi	37	29	40	35	141	....	....
Versant oriental des Alleghanys	168	74	101	150	493	2,2	0,19
Californie et Colombie Britannique	220	203	203	275	901	1,3	0,07
Mexique. Séismes de grande extension	37	59	24	41	161	....	....
Jalisco et Querétaro	57	43	59	50	209	....	....
Michoacán et Guerrero	71	83	83	67	304	....	....
Mexico et Veracruz	63	67	50	54	234	....	....
Série de M. Carlos Mottl à Orizaba	83	72	75	91	321	1,2	0,05
Petites Antilles	70	80	102	81	333	....	....
Série de Sainte-Claire Deville à la Pointe-à-Pitre	50	67	42	15	174	....	....
Haiti et Saint-Dominique	20	57	36	40	153	....	....
Iles sous le vent et Trinidad	16	11	20	12	59	....	....
Saint-Thomas	29	20	29	21	99	....	....
Jamaïque	20	31	39	27	117	....	....
Cuba	35	25	20	35	115	1,7	0,13
Guatemala	61	75	72	47	255	....	....
Salvador	90	81	61	81	313	1,4	0,09
Honduras, Nicaragua et Costa Rica	56	53	46	48	203	1,2	0,04
Totaux	1,210	1,155	1,122	1,194	4,681	1,07	0,018

REGIONS.	Hiver.	Printemps.	Eté.	Automne.	Totaux.	$\frac{M}{m}$	$\frac{M-m}{T}$
Amérique Anglo-Saxonne	468	348	395	501	1,712	1,4	0,08
Mexique	381	419	358	328	1,486	....	....
Antilles	243	295	298	266	1,102	....	....
Centre-Amérique	207	197	177	173	754	1,1	0,04
Totaux	1,299	1,259	1,228	1,268	5,054	1,05	0,014
Golfe du Mexique (Mexique, Centre-Amérique, Antilles, Venezuela, Colombie maritime, Darien)	930	1,036	897	849	3,712	....	....

NOTA.

Les chiffres de la 2e partie du tableau sont supérieurs à ceux de la première, à cause de l'adjonction de très petites séries et de séismes divers, en trop petit nombre pour avoir été statistiqués.

Les colonnes $\frac{M}{m}$ et $\frac{M-m}{T}$ ne sont remplies que pour les séries conformes à la loi de Perroy.

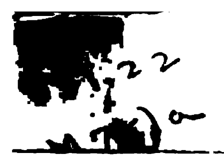


TABLEAU II.

Séries se conformant à la loi de Perrey.

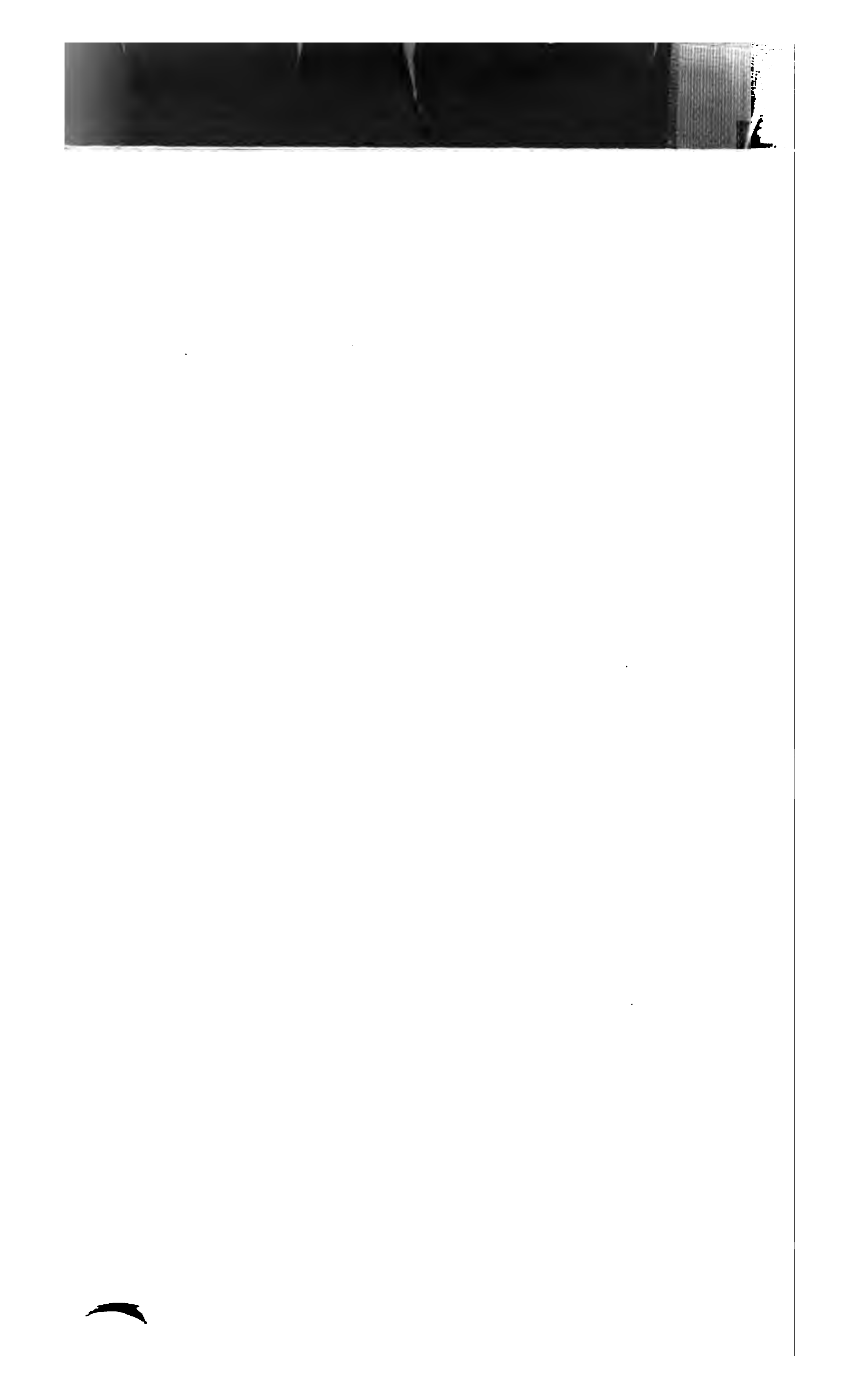
Valeurs moyennes des rapports $\frac{M}{m}$ et $\frac{M-m}{T}$ par intervalles de 100 en 100 jours de séismes.

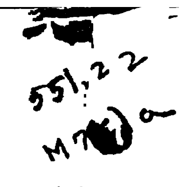
Centaines de jours	$\frac{M}{m}$	$\frac{M-m}{T}$	Centaines de jours	$\frac{M}{m}$	$\frac{M-m}{T}$
0	2,6	0,25	1,600	1,3	0,06
100	2,3	0,21	1,700	1,3	0,06
200	2,2	0,16	1,800	1,3	0,06
300	1,7	0,12	1,900	....	....
400	2,2	0,18	2,000	....	....
500	1,6	0,12	2,100	....	....
600	1,6	0,04	2,200	....	....
700	1,2	0,06	2,300	....	....
800	1,4	0,09	2,400	....	....
900	1,3	0,07	2,500	....	....
1,000	1,3	0,13	2,600	....	....
1,100	....	....	2,700	....	....
1,200	1,4	0,09	2,800	....	....
1,300	....	....	2,900	1,1	0,05
1,400	....	....	3,000	....	....
1,500	1,2	0,04			

TABLEAU III.

Rapport des nombres de jours de séismes se conformant à la loi de Perrey à ceux ne s'y conformant pas (1) et nombres moyens de régions sismiques traversées por chaque parallèle de latitude (2).

Intervalles de latitude.	(1).	(2).
60 à 69° lat. N.	1,26	3,3
50 à 59° „ „	11,49	6,9
40 à 49° „ „	1,69	20,7
30 à 39° „ „	1,14	16,6
20 à 29° „ „	0,11	8,4
10 à 19° „ „	0,46	8,9
0 à 9° „ „	0,28	4,7
0 à 9° lat. S.	0,68	6,9
10 à 19° „ „	0,80	2,0
20 à 29° „ „	0,03	1,8
30 à 39° „ „	0,02	2,0
40 à 49° „ „	0,02	1,3





MEMORIAS

DE LA

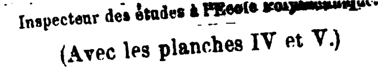
SOCIEDAD CIENTÍFICA

"ANTONIO ALZATE"

TOMO III

MEXICO
IMPRENTA DEL GOBIERNO FEDERAL EN EL EX-ARZOBISPADO
(Avenida Oriente 2, núm. 726).

1889



Inspecteur des études à l'Ecole ...

(Avec les planches IV et V.)

ESTUDIO

De la distribución horaria diurna y nocturna de los movimientos séismicos y su relación con las culminaciones de la luna

POR

F. DE MONTESSUS DE BALLORE

Socio corresponsal en París,
Inspector de estudios en la Escuela Politécnica.

Las numerosas leyes ó relaciones de orden cósmico ó meteorológico, que en gran número han sido y son actualmente emitidas acerca de los terremotos, deben de someterse á comprobaciones severas, porque comunmente son el resultado de estadísticas reducidas. La mayor parte de ellas, quizá todas, se han deducido de aproximaciones de los catálogos séismicos más ó menos extensos y de catálogos de los fenómenos con los cuales los autores han querido relacionar los movimientos séismicos, gùiados por ideas teóricas *á priori*. Concienzudamente ó no, se han señalado bien las coincidencias, cuidando de no decir las veces por ciento que se producen unos de los fenómenos comparados independientemente de otros.

12

Inspecteur des études à l'École Polytechnique.

(Avec les planches IV et V.)

La seismología es una de las ciencias en que más se ha abusado de este método de las coincidencias, enteramente anticientífico, y del cual uno de los ejemplos más notables es la ley de Audrand: un terremoto está siempre acompañado de una inundación en algún punto del globo. No es aquí la ocasión de hacer la crítica de este método, del cual ya me he ocupado en trabajos anteriores; en este estudio me limitaré á revisar dos importantes leyes: la primera relativa á la predominación de las oscilaciones terrestres durante la noche, apenas admitida; la segunda, célebre bajo el punto de visto teórico, que atribuye cierto número de conmociones á la acción de una marea lunar sobre el núcleo de la tierra, supuesto aún en estado fluido.

I. Establecimiento del catálogo séismico.

Se ha necesitado primeramente constituir como instrumento de estudio un extenso catálogo cronológico, comprendiendo toda la superficie terrestre y sin hacer crítica en él de ningún hecho. He debido para esto recorrer todos los catálogos existentes, parciales tanto con relación al tiempo, como con relación al espacio, á fin de comprobar unos por otros. Este ha sido el único medio de asegurarse que en las estadísticas un hecho dado no puede figurar más que una vez. Esta comprobación recíproca me ha hecho eliminar un gran número de movimientos dudosos, puesto que las fechas y aun las horas no han sido perfectamente concordantes. En lugar de elegir entre las diversas autoridades, he preferido no tener cuenta de estos hechos, cuando para decidirme no he tenido á la vista la fuente original. A este examen han resistido 45,000 hechos, número más que suficiente para lo que me he propuesto y me puse en el deber de ser tanto más severo, cuanto de que se trataba de negar relaciones admitidas por seismologistas de autoridad.

En este orden de ideas he renunciado sistemáticamente de todos los acontecimientos señalados por la prensa extracientífica y que comunmente resultan de telegramas más ó menos bien



transmitidos y que dan lugar á incertidumbres en las fechas, que llegan fácilmente á 48 horas. La costumbre tan extendida de atrasar los periódicos, es otra de las causas de error, así como la expresión *media noche* que hace dudar si se trata de la media noche en que comenzó ó en que terminó un día dado, y en fin, que en varias publicaciones no es fácil saber si se trata de tiempo civil ó astronómico.

No obstante todas estas precauciones, los diferentes fenómenos tienen valores ó pesos bastante desiguales. Así, pues, en lugar de hacer una estadística en conjunto, he formado los grupos siguientes:

1º Series de regiones mal definidas bajo el punto de vista de la geografía física.

Por ejemplo, la Francia, después de separarle la Provenza y la región de los Pirineos, en que las oscilaciones son relativamente más frecuentes que en el resto del país. Si hubiera establecido tantas series cuantas son las regiones séismicas bien definidas, mi catálogo quedaría tan complicado, que muy poco se hubiera deducido de la estadística.

2º Series de regiones bien definidas bajo el punto de vista de la geografía física.

3º Series locales de corta duración y de un observador.

Por ejemplo, las observaciones de Gempeler en el Simmenthal, del 13 de Abril al 16 de Octubre de 1885.

4º Series locales de larga duración y de un observador.

Por ejemplo las observaciones de Tscheinen en el Valle de la Visp, de 1855 á 1863.

Estos dos últimos grupos son muy importantes á causa de su doble carácter de unidad en el lugar y en el modo de observación.

5º Series volcánicas de corta duración y de un observador.

Como puede suponerse que los choques y las numerosas explosiones que acompañan á ciertas erupciones, constituyen un fenómeno que difiere esencialmente de las oscilaciones terrestres ordinarias, es útil destinarles un capítulo especial. Desgra-

Inspecteur des études à l'École Polytechnique.

(Avec les planches IV et V.)

Italia, Sra. Scarpellini, Conti, Scaglione, Santulli, Silvestri, etc.

Kamtschatka, Kegel.

México, El Conde de la Cortina y J. Orozco y Berra.

Perú, De Castelnau, Tirel, Paz Soldán y Rouand.

República Argentina, Gualterio G. Davis.

Siberia, Kehlberg.

Suiza, Merian y Otto Volger.

Venecia, Suess.

Venezuela, Rojas.

Etc., etc.

Los títulos de las series completan esta lista de nombres, cuyo conocimiento es tan interesante para los estudios seismológicos.

II. Distribución horaria diurna y nocturna de los movimientos.

La opinión de que los terremotos se producen sobre todo por la noche, es muy antigua y reina desde la clásica antigüedad. Jamás se le ha explicado de una manera satisfactoria, pues no honraré con la refutación la pretendida explicación que consiste en decir que, puesto que tiembla más en invierno que en estío, no debe sorprender que la noche, que es análoga al invierno (!), sea más favorable para la producción del fenómeno. Sin embargo, hace mucho tiempo que con motivo de los temblores de las Antillas, Sainte-Claire Deville y Poëy, han hecho notar que, libre el hombre durante la noche de ruidos y de las preocupaciones de la existencia y colocado además en una posición horizontal que lo pone en más íntima relación con el suelo, se encuentra en mejores condiciones que durante el día para sentir las ligeras oscilaciones. Esta opinión, muy racional, puede transformarse en certidumbre por el estudio de la relación $\frac{d}{n}$ de los movimientos diurnos y nocturnos.

Para algunas series de los dos primeros grupos, como Indos-



tán, México, Sicilia, Filipinas, España, Polinesia, Rusia de Europa, Célebes y Borneo, esta relación es casi la unidad. Hay que notar que esto se produce para series muy numerosas y para otras muy reducidas. En estas últimas puede observarse una cierta regularidad de distribución horaria, lo que puede atribuirse á que tiembla poco en las regiones correspondientes ó que se tienen pocos datos acerca de éstas. En estas condiciones los movimientos conocidos están repartidos en un largo espacio de tiempo y la casualidad los ha distribuído con bastante regularidad en las 24 horas.

Para estos dos primeros grupos el valor medio de la relación $\frac{d}{n}$ es de 0.75 y 0.78 respectivamente. En el tercer grupo esta relación llega hasta 2.71 en las Filipinas, pero es muy cercana á 1 para las Calabrias y las Marianas; su valor medio es 0.79. En el 4º grupo encontramos 0.97 en Conrie (Escocia), 1 en Zanta y en las islas Sandwich, 1.06 para los ruidos subterráneos (retumbos) del Valle de la Visp. Para el conjunto el valor medio es 0.76. El 5º grupo de las series volcánicas de poca duración nos da varios valores notablemente superiores á 1, lo que proviene de que, excepto en Christchurch (Hawai), las observaciones se hacen regularmente sólo durante el día. Para las series de las comisiones seismológicas (6º grupo), la Sicilia, las Molucas y las Célebes dan valores superiores á la unidad, Java y Sumatra 0.94, Japón 0.86. El valor medio del grupo llega á 0.82.

Más adelante veremos lo relativo al 7º é importante grupo de los observatorios geodinámicos italianos.

Por el momento vemos, pues, que el valor 1 obtenido en algunas series de alto valor del 4º grupo, un cierto número de valores $\gtrless$ 1 encontrarse en varios grupos y, en fin, esta relación crecer de 0.75 á 0.82 á medida que se pasa á grupos de valor científico creciente. Hay en ello una predominancia de un valor real igual á la unidad, es decir, distribución igual en el día y en la noche.

Inspecteur des études à l'École Polytechnique.

(Avec les planches IV et V.)

No me he contentado con esta primera indicación y he querido saber lo que daría el empleo de la escala Rossi-Forel de intensidades. En efecto, es evidente que las condiciones fisiológicas en las cuales se encuentra el hombre, relativamente á la observación de los terremotos, no tienen influencia sino para los de débil intensidad. Esta influencia se manifestará, pues, tanto más, cuanto los sacudimientos sean más ligeros, porque en efecto la relación $\frac{d}{n}$ apenas superior á 1 para las intensidades X y IX decrece con regularidad hasta 0.65 y 0.67 para las intensidades V y IV. Hay en esto, pues, una notable confirmación de la opinión de Sainte-Claire Deville y Poëy.

Las representaciones gráficas comprueban estas consideraciones. Haciendo á un lado las del grupo V de las series volcánicas, para las cuales las observaciones han sido mal hechas, excepto en las Islas Sandwich, y las del grupo VII de los observatorios geodinámicos italianos, de que nos ocuparemos después, se percibe claramente un máximum hacia las 3^h ó 4^h am. Después desciende la curva rápidamente hasta el intervalo de las 7 y las 8, manteniéndose casi al mismo nivel hasta el medio día, volviendo á descender un poco y ascendiendo notablemente hasta el intervalo do 3^h á 4^h pm., baja de nuevo hacia las 6 pm., momento en que llega á su mínimum. En seguida sube con rapidez hasta las 11½ y alcanza hacia la media noche y media hora un nuevo mínimum que se encuentra casi á la mitad de la amplitud de estos diversos movimientos. Esta marcha común á las curvas de los grupos I, II, III, IV y VI, se observa naturalmente en la curva total y puede explicarse sencillamente. Hacia las 3^h am. los sentidos ya están bien reposados y perciben rápidamente las ondulaciones del suelo, tanto mejor cuanto que la mayor parte de las poblaciones está aún dormida. Un poco más tarde la actividad humana comienza con intensidad creciente y por esto multitud de choques débiles se pierden. Hasta medio día cambian poco las condiciones fisiológicas de la observación y la curva se conserva al mismo nivel. No se explica muy

bien en este orden de ideas el mínimum que hacia el intervalo de 1^h á 2^h pm. sigue esta porción constante, pues ciertamente no es ese el momento de la mayor actividad humana, que parece estar colocada entre 7^h y 9^h am. De todos modos la curva alcanza otro máximum un poco más tarde; es la hora de reposo relativo en los países templados y de la siesta en los cálidos: la observación de los movimientos se hace mejor. La curva llega en seguida á su mayor mínimum y de nuevo asciende regularmente durante toda la tarde y la primera parte de la noche, cuando, para una población dada, el número de personas que se dan al reposo aumenta gradualmente. El mínimum relativo que sigue se explica porque en las horas del primero y más profundo sueño, los sentidos están muy fatigados para no dejar escapar un gran número de los sacudimientos pequeños. Este modo de considerar las particularidades muy generales de las curvas, me parece perfectamente racional y de tal naturaleza, que puede aceptarse para dar cuenta bien de los resultados de las estadísticas. Los estudios anteriores no dan más que una máxima nocturna y una mínima diurna. Se ve que este estudio penetra más profundamente en la naturaleza del fenómeno en cuanto á la influencia del modo mismo de observación sobre los resultados de las estadísticas.

Todas estas consideraciones concordantes muestran bien que:

Los movimientos se producen uniformemente tanto en el día como en la noche.

Los grupos 1 á 6, dando por término medio el valor 0.80 de la relación $\frac{d}{n}$, se puede admitir que este número representa la pérdida relativa de los movimientos diurnos causada por las condiciones fisiológicas de la actividad humana.

Se habrá notado que no he hablado de las series instrumentales del grupo 7º ni de las intensidades III á I. Sin embargo, parecería que ahí era en donde podría buscarse una notable confirmación de lo que acaba de asentarse. Pero los observatorios

Inspecteur des études à l'École Polytechnique.

(Avec les planches IV et V.)

de Acireale, Bolonia Rocca di Papa, Spinea di Mestre, Veletri, Verona y del Vesubio, dan una relación $\frac{d}{n}$ notablemente superior á la unidad. Llega á 2.04 en Roma y á 1.73 en Veletri. Para las intensidades III, II y I toma sucesivamente los valores crecientes 0.60, 0.73, 1.80. Hay además que observar que las series del grupo 7º producen 0.75 de los sacudimientos de intensidad III, 0.90 de las de intensidad II y la totalidad de los de I. En esto hay un hecho extraño, la relación $\frac{d}{n}$ en lugar de quedar igual á la unidad, aumenta notablemente y toma para el conjunto del grupo 7º el valor medio 1.49.

Mi primera idea ha sido atribuir esta anomalía al modo mismo de fraccionamiento de los observatorios italianos. Me parecía evidente que en ellos se limitaban á observar solamente en el día de una manera continua y regular. Comuniqué esta cuestión al Profesor M. de Rossi, eminente seismologista que dirige el servicio geodinámico en Italia, y me respondió categóricamente:

Todos los movimientos se obtienen por instrumentos registradores que funcionan de día y de noche.

Esta respuesta hace dudar de mi afirmación de igual distribución diurna y nocturna. Hay, pues, que hacer reservas en cuanto á las pequeñas oscilaciones de las intensidades III á I, porque no dejará de hacerse intervenir en su producción la acción directa del sol, pudiendo modificar su equilibrio la desigual dilatación de las capas terrestres externas. Debo observar, sin embargo, que en el Vesubio, en que las observaciones comprenden 21 años, de 1863 á 1885, sólo á partir de 1875 es cuando los fenómenos se presentan más frecuentemente en el día y hacia ese año es cuando aparecen los primeros seismógrafos muy sensibles. Me inclino á pensar que si las observaciones italianas dan una máxima diurna, se debe sencillamente á que reunen á las oscilaciones séismicas reales, toda clase de movimiento debido al hombre, carruajes y ferrocarriles, explosiones de mi-



nas, etc. En efecto, ya se sabe á qué distancias tan enormes se propagan estos movimientos, por los experimentos directos verificados en Nueva York y en el Japón. De manera que estoy enteramente convencido que si los observatorios en cuestión estuvieran establecidos en el campo, desaparecería esta anomalía de la predominancia diurna de los pequeños sacudimientos instrumentales, opinión corroborada por las curvas del grupo 7°, la cual asciende con mucha regularidad, después del intervalo de las 7^h á las 8^h am., hasta el de 10 á 11. Efectivamente, en este momento es cuando aumenta la actividad humana hasta el reposo relativo del medio día. Entonces es cuando los instrumentos registran muchas ondulaciones enteramente extrañas á los fenómenos séismicos y debidos únicamente á la civilización.[1]

III. Distribución de los movimientos con relación á las culminaciones lunares.

Perrey ha enunciado esta ley: los terremotos se verifican sobre todo en las cercanías de las culminaciones lunares. Encuentra por término medio para algunas series italianas y la de Arequipa (Perú, 1810-1845) el número 0.06 para el valor de la relación de la diferencia entre los números de movimientos á $-45°$ y á $+45°$ de la culminación superior á su número total. De lo que dedujo formalmente una relación de los movimientos terrestres con la posición de la luna con respecto al meridiano, y sus partidarios, más explícitamente que él, á una marea del núcleo terrestre interno supuesto aún fluido Se le ha objetado lo reducido de la relación 0.06, pero no la aceptó, y me parece que con razón, desde el momento en que creía general

1 La diferencia de algunas centenas entre la estadística horaria y la relativa á las culminaciones lunares de que me voy ya á ocupar, proviene de que no he podido comprender en la segunda varios movimientos ciertos, pero para los cuales subsiste una duda en cuanto al estilo empleado, juliano ó gregoriano; esto se ha presentado para los países de religión griega y para el siglo XVIII. En fin, los movimientos de hacia la media noche presentan casi siempre una indeterminación de 24 horas, que no permite hacerlos figurar en el estudio que sigue.

Inspecteur des études à l'École Polytechnique.

(Avec les planches IV et V.)

la existencia de esta máxima. Lo insignificante de la relación indica tan sólo que la posición de la luna, en tanto que causa movimientos, no interviene sino en un corto número de ellos. Como esta cuestión de una marea interna es capital, me he ocupado de nuevo del estudio de esta ley, á la cual únicamente se ha objetado lo pequeño de la relación 0.06 y que no tiende á nada, mucho menos á la demostración experimental de la fluidez actual del interior del globo terrestre. Perrey tuvo la fortuna de encontrarse con series que favorecieron sus ideas. Basta para convencerse de ello dar una mirada al cuadro siguiente que indica el número de veces quo por ciento de mis series ha coincidido el máximum del número de temblores con cada octavo de día lunar de $24^h\ 50^m$:

Octavos..............	1	2	3	4	5	6	7	8
	14	8	14	11	14	10	14	15

El medio del primer octavo corresponde á la culminación superior.

Esta negación manifiesta de la ley de Perrey la corrobora el estudio de la relación de la diferencia entre la máxima y la mínima de los números de movimientos en cada octavo de cuadrante lunar al número total de cada serie.

Si hay una ley de relación entre estos dos fenómenos, tenderá hacia un límite determinado á medida que las series consideradas crezcan, sèa en números de movimientos, sea en valor de observación. Si no hay ley, esta relación será más y más pequeña, porque sería nula para un número infinito de movimientos. Este segundo caso es el que se presenta en los cuadros adjuntos á este estudio.[1] Esta relación, siempre muy pequeña, igual á 0.00655 para el conjunto, es generalmente tanto más débil, cuanto que se calcula para una serie más considerable. Se-

1 El autor remitió á la Sociedad un cuaderno que contiene cuadros numéricos relativos á varios países, del cual extractamos lo relativo á la República.




gún el cálculo de probabilidades y lo que precede, ahí está el criterio de la ausencia de toda relación.

De la misma manera la relación, positiva ó negativa, de la diferencia entre los números de movimientos antes y después de la culminación superior al número total de cada serie, es tanto más pequeña cuanto ésta contiene más movimientos. Para el conjunto es positiva, es decir, que hay más movimientos antes que después de la culminación superior, é igual á 0.00546 en valor absoluto.

Así, pues, puedo afirmar que:

Los temblores no tienen ninguna relación con las culminaciones de la luna.

Los partidarios de la marea interna harán la objeción de que es necesario también tener en cuenta la posición del sol, el efecto de este astro, variable con su posición con relación á la de la luna, pudiendo faltar el máximum á la culminación superior. Este punto no es admisible. Si en efecto para los fenómenos meteorológicos se supone actualmente la influencia de mareas lunares ó solares sobre la atmósfera, es que en este caso las dos mareas son de un orden de magnitud comparable, mientras que sobre el núcleo interno, en razón de la gran densidad del medio, la marea solar sería siempre en todo estado de causa, despreciable enfrente de la marea lunar. Es necesario también no olvidar que la ausencia de relación entre los temblores y las culminaciones de la luna, no tienen ninguna con respecto á las oscilaciones de la vertical en un punto dado. A esto se hará la objeción de que al nivel de los grandes accidentes de la corteza terrestre, es decir, en dirección de las costas del océano de pendiente rápida, en donde tal vez la corteza del núcleo interno, si es fluído, presenta un mínimum de resistencia, y en donde su espesor pasa bruscamente á valores muy diferentes que corresponden al fondo de los mares por una parte, y á las grandes masas continentales por la otra, todo en la hipótesis de la fluidez interior, se objetará, como decia, que á lo largo de la superficie de unión entre los fondos del océano y continentales po-

Inspecteur des études à l'École Polytechnique.

(Avec les planches IV et V.)

dría producirse para la marea interior un fenómeno semejante al establecimiento de los puertos para las mareas del océano. Pero un establecimiento interior tendría por efecto retardar la máxima relativa á la culminación superior y de cambiarla al segundo y tercer octavos de cuadrante lunar y no la dejaría repartida uniformemente en todo el cuadrante, como lo hemos visto en el cuadro anterior.



Distribución horaria diurna-nocturna para México.		
Intervalos horarios.	México (Al N. del Istmo de Tehuantepec)	Orizaba (Observaciones de D. Carlos Mottl).
O	47	2
I	39	4
II	46	5
III	53	7
IV	49	5
V	39	2
VI	30	2
VII	51	2
VIII	52	1
IX	52	4
X	43	4
XI	45	3
XII	40	4
XIII	45	5
XIV	52	2
XV	62	3
XVI	51	3
XVII	48	7
XVIII	46	4
XIX	52	2
XX	62	8
XXI	56	8
XXII	43	11
XXIII	50	4
XXIV		
Totales........	1153	102
$\frac{d}{n}$	0.98	0.65

Inspecteur des études à l'École Polytechnique.

(Avec les planches IV et V.)

Distribución de los movimientos con relación á las culminaciones de la luna.		
Intervalos horarios.	México.	Orizaba (Observaciones de D. Carlos Motti).
Culminación inferior		
XII	18	6
XI	40	8
X	51	15
IX	50	8
VIII	44	11
VII	56	11
VI	38	4
V	47	9
IV	54	9
III	38	9
II	64	12
I	40	7
	37	18
Culminación superior		
I	54	15
II	49	15
III	46	10
IV	46	16
V	54	17
VI	37	10
VII	39	13
VIII	43	11
IX	38	6
X	50	15
XI	46	12
XII	35	7
	14	4
Culminación inferior		
Antes } De la culmina-	567	121
Después } ción superior	551	151
Totales.........	1118	272





Distribución de los movimientos con relación á las culminaciones de la luna.

	Octavos de cuadrante lunar de 24 h. 50 m.	México.	Orizaba.
	I	140	39
	II	150	44
	III	126	37
	IV	138	34
	V	122	29
	VI	151	35
	VII	145	24
	VIII	146	30
Relaciones.	K	0.0259	0.1161
	R	+0.0143	—0.2965

K es la relación entre la diferencia de la máxima y de la mínima del número de movimientos en cada octavo de cuadrante lunar y su número total.

R es la relación, positiva ó negativa, entre los números de movimientos antes y después de la culminación superior y su número total.

Inspecteur des études à l'École Polytechnique.

(Avec les planches IV et V.)

EXTRAIT

BIBLIOTHÈQUE UNIVERSELLE

ARCHIVES

DES

SCIENCES PHYSIQUES ET NATURELLES

TROISIÈME PÉRIODE

TOME XXII

N° 11. — 15 Novembre 1889



GENÈVE

BUREAU DES ARCHIVES, RUE DE LA PÉLISSERIE, 18

ÉTUDE
SUR
LA RÉPARTITION HORAIRE DIURNE-NOCTURNE DES SÉISMES
ET LEUR
PRÉTENDUE RELATION AVEC LES CULMINATIONS DE LA LUNE

PAR

M. F. DE MONTESSUS DE BALLORE
Capitaine d'artillerie,
Inspecteur des études à l'École Polytechnique.

(Avec les planches IV et V.)

La Bibliothèque Universelle et Revue Suisse (*Partie littéraire*) paraît à LAUSANNE par livraisons mensuelles de 14 feuilles d'impression, et forme chaque année quatre beaux volumes de près de 2700 pages ensemble.

Tout ce qui concerne la *rédaction* doit être adressé *franco* à M. Ed. Tallichet, rue du Midi, 1, à Lausanne.

Pour les *abonnements*, les *réclamations* et les *annonces*, s'adresser au Bureau de la Bibliothèque Universelle, 1, place de la Louve, à Lausanne.

SOMMAIRE DES MATIÈRES CONTENUES DANS LA LIVRAISON DE NOVEMBRE

Les Archives des Sciences physiques et naturelles (*Partie scientifique* de la *Bibliothèque Universelle*) paraissent à GENÈVE.

Envoi *franco par la poste* aux prix d'abonnements suivants, payables à Genève (en espèces, mandats sur la poste, traites à vue).

Suisse . . . . Fr. 20
Tous les pays faisant partie de l'Union postale. » 25

(Mêmes prix pour la partie littéraire.)

Chaque numéro se vend séparément 2 fr. 50.

Tout ce qui concerne la rédaction et l'administration doit être adressé *franco* au Bureau de cette publication, rue de la Pélisserie, n° 18, à Genève.

EXTRAIT des Archives des Sciences physiques et naturelles.
Novembre 1889, 3me période, t. XXII, p. 409.

Hommage respectueux de l'auteur à M. Phillips, examinateur à l'École Polytechnique
F. Montessus

ÉTUDE

SUR

LA RÉPARTITION HORAIRE DIURNE-NOCTURNE DES SÉISMES

ET LEUR

PRÉTENDUE RELATION AVEC LES CULMINATIONS DE LA LUNE

PAR

M. F. DE MONTESSUS DE BALLORE
Capitaine d'artillerie,
Inspecteur des études à l'École Polytechnique.

(Avec les planches IV et V.)

Les nombreuses lois ou relations d'ordre cosmique ou météorologique, qui en grand nombre ont été et sont encore journellement avancées sur les tremblements de terre, doivent être soumises à un contrôle sévère, car elles sont le plus souvent le résultat de statistiques beaucoup trop restreintes. La plupart d'entre elles, on peut même dire toutes, ont été déduites du rapprochement des catalogues sismiques plus ou moins étendus et des catalogues des phénomènes avec lesquels les auteurs de ces lois, guidés par des idées théoriques à priori, voulaient mettre les séismes en relation. Consciemment ou non l'on signale bien les coïncidences, mais on se garde de dire combien de fois pour °/₀ les phénomènes comparés se pro-

duisent indépendamment les uns des autres. La sismologie est certainement une des sciences où il a été le plus abusé de cette méthode tout à fait antiscientifique des coïncidences et dont l'exemple le plus frappant est la loi d'Audrand : un tremblement de terre est toujours accompagné d'une inondation en quelque point du globe. Ce n'est point le lieu de faire ici le procès de cette méthode, dont j'ai déjà eu à m'occuper dans des travaux antérieurs, et dans cette étude je me contenterai de reviser deux lois importantes, la première relative à une prédominance des oscillations terrestres pendant la nuit, trop légèrement admise, la seconde, célèbre au point de vue théorique et faisant dépendre les séismes, ou pour mieux dire un certain nombre d'entre eux, d'une marée lunaire sur le noyau terrestre supposé encore fluide actuellement.

I. *Établissement du catalogue sismique.*

Tout d'abord il m'a fallu constituer comme instrument d'étude un vaste catalogue chronologique, embrassant toute la surface du globe et dans lequel aucun fait ne fût sujet à critique. J'ai dû pour cela compulser tous les catalogues existants, partiels tant par rapport au temps que par rapport à l'espace, afin de les contrôler les uns par les autres. C'était aussi le seul moyen d'être sûr que dans les statistiques un fait donné ne pût figurer qu'une seule fois. Ce contrôle réciproque m'a fait éliminer un très grand nombre de séismes devenus douteux à la suite de cet examen toutes les fois que les dates et même les heures n'ont pas été trouvées en parfaite concordance. Au lieu de choisir entre les diverses autorités, j'ai préféré ne pas tenir compte de ces faits, toutes les fois que pour me

décider je n'ai pu remonter à la source originale. Le nombre des faits ayant résisté à cet examen, 45,000, était d'ailleurs largement suffisant pour le but que je me proposais, et j'avais le devoir d'être d'autant plus sévère qu'il s'agit de nier des relations admises par des sismologues faisant autorité.

C'est dans cet ordre d'idées que j'ai été amené à renoncer systématiquement à tous les faits donnés par la presse extrascientifique, et qui résultent ordinairement de dépêches plus ou moins bien transmises et donnant lieu à des incertitudes de date qui atteignent facilement 48 heures. L'habitude fort répandue d'antidater les journaux est une autre cause d'erreur. Dans ces conditions la prudence scientifique commandait l'abstention. Une autre cause d'erreur vient aussi de la malheureuse expression de « minuit » qui laisse dans le doute la question de savoir s'il s'agit du minuit commençant ou finissant un jour de date donnée. Enfin dans certaines publications il n'est pas toujours facile de savoir s'il s'agit du temps civil ou astronomique.

Malgré toutes ces précautions les différents phénomènes ont cependant des valeurs (ou des poids, comme on dit maintenant) bien inégales. J'ai donc été amené à les diviser en groupes, au lieu d'en faire la statistique brutale. Voici la classification adoptée.

1° Séries de régions mal définies au point de vue de la géographie physique.

Par exemple la France, après en avoir séparé la Provence et la région Pyrénéenne, où les oscillations sont relativement plus fréquentes que dans le reste du pays. Si j'avais établi autant de séries que de régions sismiques bien définies, mon catalogue se serait tellement émietté

qu'aucun enseignement n'eût pu être tiré de la statistique. Les séries que j'ai établies auraient pu l'être autrement dans bien des cas. Le choix adopté résulte le plus souvent de la nature des documents consultés.

2° Séries de régions bien définies au point de vue de la géographie physique.

3° Séries locales de courte durée et d'un seul observateur.

Par exemple les observations de Gempeler au Simmenthal du 13 avril au 16 octobre 1885.

4° Séries locales de longue durée et d'un seul observateur.

Par exemple les observations de Tscheinen dans la vallée de la Visp de 1855 à 1863.

Ces deux derniers groupes sont très importants à cause du double caractère d'unité des faits qui y figurent, unité de lieu, unité dans le mode d'observation.

5° Séries volcaniques de courte durée et d'un seul observateur.

Comme on peut supposer que les chocs et les explosions nombreuses qui accompagnent certaines éruptions constituent un phénomène différant essentiellement des oscillations terrestres ordinaires, il était utile de leur ouvrir un chapitre spécial. Il se trouve malheureusement que pour les trois volcans dont on possède des observations suivies, les séries n'ont de valeur que pour le Maunoa-Loa. A Santorin, Julius Schmidt n'observait d'une façon régulière que le jour et à Ilopango (Centre-Amérique) Goodyear que la nuit. Ce groupe n'a donc pas en réalité le poids que son titre semblerait indiquer. Quant au Vésuve les observations de Palmieri ne permettent pas de décider si par hasard il y aurait quelque chose de par-

ticulier aux oscillations purement volcaniques, parce que les instruments enregistreurs donnent ensemble celles qui proviennent de toute la région environnante.

6° Séries des commissions sismologiques.

Depuis quelques années il s'est formé en divers pays des commissions sismologiques dont le but est de centraliser et de contrôler tous les séismes de la région. Le Japon a eu l'initiative de ce mouvement sous l'impulsion de M. Milne. L'Italie a suivi de près sous celle de M. de Rossi. Les importantes publications qui en résultent « Transactions of the sismological society of Japan » et « Bullettino del vulcanismo italiano » commencent respectivement en septembre et décembre 1872. La Société helvétique des sciences naturelles a créé en 1878 la Commission suisse d'études sismologiques. Vers la même époque M. Eck a fondé le même service au Wurtemberg, mais il n'y a malheureusement fonctionné régulièrement que peu d'années. Aux Indes Néerlandaises, MM. Figee et Ohnen, continuent depuis 1884 les traditions de Bergsma.

Toutes ces commissions dues à l'initiative privée ont établi un grand nombre de stations où les séismes sont enregistrés automatiquement par des séismographes, séismomètres et tromomètres de systèmes trop nombreux et différents, ce qui rend leurs indications défectueuses quant à leur comparaison.

L'échelle des intensités Rossi-Forel a été généralement adoptée malgré son caractère conventionnel.

Les documents qui émanent de ces commissions présentent cependant, il faut bien le dire, le défaut assez grave de ne pas toujours séparer nettement les faits qui résultent des indications des sismographes de ceux fournis

par les amateurs qui habitent ces diverses régions. Il y a là un manque d'unité qui en diminue le poids.

7° Séries des observatoires géodynamiques italiens.

Seuls les documents italiens donnent de cette classe des séries suffisamment développées pour qu'il ait été possible de les soumettre séparément à la statistique. On conçoit que plus tard, ce sera de celles-ci seulement dont il y aura lieu de s'occuper, quand, dans un avenir qui malheureusement semble encore bien éloigné, il y aura de semblables observatoires disséminés sur toute la surface du globe. Les observatoires particuliers de M. Carlos Mottl à Orizaba et du R. P. Faura à Manille sont à signaler ici, mais les observations publiées sont encore trop peu étendues.

Tels sont les groupes de poids croissants qui ont servi de base à ce travail.

Ce n'est pas le lieu de donner un index bibliographique des innombrables sources où j'ai dû puiser. Je me contenterai de signaler les principaux documents qui m'ont servi. Ce sont d'abord les grands catalogues généraux de von Hoff, Mallet, Fuchs; puis les immenses travaux de Perrey. Les travaux d'intérêt local qu'il convient de citer sont les suivants :

Antilles. Poey.

Californie. Holden.

Caucase. Abich et Moritz.

Centre-Amérique. Goodyear, Rockstroh, Dario Gonzalez et Pittier.

Chili. Gay, Troncoso et Vergara.

Espagne. Casiano de Prado, Taramelli et Mercalli.

États-Unis et Canada. Brigham et Rockwood.

Europe centrale. Falb, Jelinek et Ami Boué.

Europe orientale. Julius Schmidt.

Indes Néerlandaises. Bergsma, Van der Stock, Versteeg.

Islande. Thorrodsen.

Italie. Me Scarpellini, Conti, Scaglione, Santulli, Silvestri, etc.

Kamtschatka. Kegel.

Mexique. Conde de la Cortina, Orozco y Berra.

Pérou. De Castelnau, Tirel, Paz Soldan y Rouaud.

Rép. Argentine. Gualterio G. Davis.

Scandinavie. Keilhau.

Sibérie. Kehlberg.

Suisse. Mérian et Otto Volger.

Vénétie. Suess.

Vénézuela, Rojas.

Etc., etc.,

Les titres de séries complètent cette liste de noms intéressants à connaître pour les recherches sismologiques.

II. *Répartition horaire diurne-nocturne des séismes.*

L'opinion que les tremblements de terre se produisent surtout la nuit est très ancienne. Elle règne depuis l'antiquité classique. Elle n'a jamais été expliquée d'une façon plausible, car je ne ferai pas l'honneur d'une réfutation à la prétendue explication qui consiste à dire que puisqu'il tremble plus en hiver qu'en été, fait à vérifier d'ailleurs, il n'est pas surprenant que la nuit, qui est l'analogue de l'hiver (!), soit elle aussi plus favorable à la production du phénomène.

Cependant il y a longtemps qu'à propos des tremblements de terre des Antilles, Sainte-Claire Deville et

Poey ont fait observer que l'homme, débarrassé pendant la nuit des bruits et des préoccupations de l'existence, placé en outre dans une position horizontale qui le met en plus intime relation avec le sol, se trouve par suite de ces circonstances dans de bien meilleures conditions que pendant le jour pour observer les petites oscillations. Cette opinion, très rationnelle, est de nature à être transformée en certitude par l'étude du rapport $\frac{j}{n}$ des nombres de séismes diurnes et nocturnes.

Pour quelques séries des 2 premiers groupes, Indoustan, Mexique, Sicile, Philippines, Espagne, Polynésie, Russie d'Europe, Célèbes et Bornéo, ce rapport est très voisin de l'unité. Il est à noter que cela se produit pour des séries très nombreuses et pour d'autres très restreintes. Pour ces dernières on peut observer une certaine régularité de répartition horaire qu'il faut attribuer à ce fait qu'il tremble peu dans les régions correspondantes ou qu'on a peu de documents sur elles. Dans ces conditions les séismes connus sont répartis sur un très long espace de temps et le hasard les a distribués assez régulièrement dans les 24 heures. Cette régularité est d'ailleurs plus apparente que réelle, car les nombres horaires tout en étant petits n'en ont pas moins des rapports qui vont souvent jusqu'à $^1/_2$. Pour ces deux premiers groupes la valeur moyenne du rapport $\frac{j}{n}$ est de 0,75 et 0,78 respectivement. Dans le 3me groupe ce rapport atteint 2,71 aux Philippines, mais reste voisin de l'unité pour les Calabres et les îles Mariannes. Sa valeur moyenne est de 0,79. Dans le 4me groupe nous trouvons 0,97 à Comrie (Ecosse), l'unité à Zante et aux îles Sandwich, 1,06 pour les retumbos (bruits souterrains) de la vallée de la Visp. Pour l'ensemble la valeur moyenne n'est pourtant que

0,76. Le 5me groupe des séries volcaniques de peu de durée nous donne plusieurs valeurs notablement supérieures à l'unité provenant de ce que, sauf à Christchurch (Hawaï), les observations ne se faisaient régulièrement que pendant le jour. Pour les séries des commissions sismologiques, 6me groupe, la Sicile, les Moluques et les Célèbes donnent des valeurs supérieures à l'unité, Java et Sumatra 0,94, le Japon 0,86. La valeur moyenne du groupe croit encore et atteint 0,82.

Nous verrons plus loin ce qui concerne le 7me et important groupe des observatoires géodynamiques italiens.

Pour le moment nous voyons donc la valeur 1 obtenue dans quelques séries de haute valeur du 4me groupe, un certain nombre de valeurs $\overline{>}$ 1 se rencontrer dans plusieurs groupes et enfin ce rapport croître de 0,75 à 0,82 à mesure qu'on passe à des groupes de valeur scientifique croissante. Il y a déjà là une forte présomption en faveur d'une valeur réelle égale à l'unité, c'est-à-dire d'une égale répartition diurne-nocturne.

Je ne me suis point contenté de cette première indication et j'ai voulu savoir ce que donnerait l'emploi de l'échelle Rossi-Forel des intensités. Il est en effet évident que les conditions physiologiques dans lesquelles l'homme se trouve relativement à l'observation des tremblements de terre n'ont d'influence que pour ceux de faible intensité. Cette influence se manifestera donc d'autant plus que les secousses seront plus légères. C'est bien ce qui a lieu : le rapport $\frac{j}{n}$ très légèrement supérieur à l'unité pour les intensités X et IX décroît assez régulièrement jusqu'à 0,65 et 0,67 pour les intensités V et IV. Il y a donc là

une très remarquable confirmation de l'opinion de Sainte-Claire Deville et Poey.

L'étude des graphiques annexés à ce mémoire (Pl. IV et V) confirme ces considérations. Mettant de côté celui du groupe V des séries volcaniques, pour lesquelles les observations ont été mal faites sauf aux Sandwich, et celui du groupe VII des observatoires géodynamiques italiens, dont nous nous occuperons plus loin, on aperçoit nettement un maximum vers 3 ou 4 heures du matin. Puis la courbe descend rapidement jusqu'à l'intervalle de 7 à 8 heures, se maintient à peu près au même niveau jusque vers le milieu du jour, redescend encore un peu et remonte notablement jusque vers l'intervalle de 3 à 4 heures de l'après-midi, s'abaisse de nouveau vers 6 heures du soir, moment auquel elle atteint son plus grand minimum. Ensuite elle remonte assez vite jusque vers 11 heures 1/2 et atteint vers minuit et demi un nouveau minimum qui se trouve à peu près à moitié de l'amplitude de ces divers mouvements. Cette allure commune aux graphiques des groupes I, II, III, IV et VI se retrouve naturellement dans le graphique total et peut s'expliquer simplement. Vers 3 heures du matin les sens sont déjà bien reposés et perçoivent rapidement les ondulations du sol d'autant mieux que la majeure partie des populations est encore couchée. Un peu plus tard l'activité humaine reprend avec une intensité croissante: beaucoup de petits chocs sont perdus par ce fait même. Jusque vers le milieu du jour les conditions physiologiques de l'observation changent peu, la courbe se maintient à ce niveau. Je ne m'explique pas très bien dans cet ordre d'idées le minimum qui vers l'intervalle de 1 à 2 heures de l'après-midi suit cette portion constante. Ce n'est certainement

point alors le moment de la plus grande activité humaine qui me semble devoir être placé vers 7 à 9 heures du matin. Quoi qu'il en soit de ce détail la courbe atteint un autre maximum un peu plus tard. C'est l'heure d'un repos relatif dans les pays tempérés, de la sieste dans les pays chauds. L'observation des séismes se fait mieux. Puis la courbe atteint son plus grand minimum et remonte régulièrement pendant toute la soirée et la première partie de la nuit, alors que pour une population donnée le nombre des personnes qui s'adonnent au repos augmente graduellement. Le minimum relatif qui suit s'explique par ce fait qu'aux heures du premier et plus profond sommeil, les sens sont trop fatigués pour ne pas laisser perdre un grand nombre de petites secousses. Cette façon de concevoir les particularités très générales des graphiques me semble parfaitement rationnelle et de nature à être acceptée comme rendant bien compte des résultats des statistiques. Les études antérieures ne donnaient qu'un maximum nocturne et un minimum diurne. On voit que cette étude pénètre plus profondément dans la nature du phénomène quant à l'influence du mode même d'observation sur les résultats des statistiques.

Toutes ces considérations concordantes montrent bien que :

Les séismes se produisent uniformément de jour comme de nuit.

Les groupes 1 à 6 donnant en moyenne la valeur 0,80 du rapport $\frac{j}{n}$, on peut admettre que ce nombre représente la perte relative des séismes diurnes causée par les conditions physiologiques de l'activité humaine.

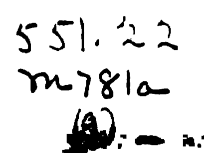
On a dû observer que je n'ai point parlé des séries

instrumentales du groupe 7, ni des intensités III à I. Cependant c'était là qu'il semblait à priori naturel de chercher une éclatante confirmation de ce qui vient d'être avancé. Mais les observatoires d'Acireale, Bologne, Rocca di Papa, Spinea di Mestre, Velletri, Vérone et du Vésuve donnent un rapport $\frac{j}{n}$ très notablement supérieur à l'unité. Il atteint 2,04 à Rome, 1,73 à Velletri. Pour les intensités III, II et I, il prend les valeurs successivement croissantes 0,60, 0,73, 1,80. Il est d'ailleurs à observer que les séries du groupe 7 fournissent les 0,75 des secousses d'intensité III, les 0,90 des secousses d'intensité II, et la totalité de celles d'intensité I. Il y a là un fait étrange, le rapport $\frac{j}{n}$ au lieu de devenir égal à l'unité, ou très voisin, comme on devait s'y attendre, dépassant notablement cette valeur et prenant pour l'ensemble du 7me groupe la valeur moyenne 1,49.

Ma première pensée a été d'attribuer cette anomalie au mode même de fonctionnement des observatoires italiens. Il me semblait évident qu'on s'y contentait d'observer seulement le jour d'une façon suivie et régulière. J'ai donc posé la question à M. de Rossi, l'éminent sismologue qui dirige le service géodynamique en Italie. Or sa réponse est catégorique :

Toutes les secousses sont obtenues par des instruments enregistreurs qui fonctionnent jour et nuit.

Cette réponse est de nature à faire douter de mon affirmation d'une égale répartition diurne-nocturne. Il y a donc lieu de faire des réserves quant aux petites oscillations des intensités III à I, car on ne manquera pas de faire intervenir dans leur production l'action directe du soleil, une inégale dilatation des couches terrestres externes pouvant troubler leur équilibre. Je dois cepen-





dant faire observer qu'au Vésuve, où les observations comprennent 21 années, de 1863 à 1885, ce n'est qu'à partir de 1875 que les phénomènes se présentent plus fréquemment de jour. Or c'est vers 1875 qu'apparaissent les premiers sismographes très sensibles. Je suis ainsi conduit à penser que si les observations italiennes donnent un maximum diurne, cela tient tout simplement à ce qu'elles mélangent aux oscillations sismiques réelles toute sorte de mouvements dus à l'homme, roulements de voitures et de trains de chemins de fer, explosions de mines, etc. On sait en effet à quelles énormes distances ces mouvements se propagent à la suite de nombreuses expériences directes faites à New-York et au Japon. Je suis donc tout à fait convaincu que si les observatoires en question étaient établis en pleine campagne, cette anomalie de la prédominance diurne des petites secousses instrumentales disparaîtrait. Cette opinion est corroborée par le graphique du groupe VII. La courbe remonte très régulièrement depuis l'intervalle de 7 à 8 heures du matin jusqu'à celui de 10 à 11 heures. C'est bien en effet à ce moment que l'activité de l'homme croît jusqu'au repos relatif du milieu du jour. Alors les instruments enregistrent un grand nombre d'ondulations tout à fait étrangères aux phénomènes sismiques et uniquements dues à la civilisation [1].

[1] La différence de quelques centaines entre la statistique horaire et la statistique relative aux culminations lunaires dont nous allons maintenant nous occuper provient de ce que je n'ai pu faire entrer dans la seconde un certain nombre de séismes bien certains d'ailleurs, mais pour lesquels subsistait un doute quant au style employé, julien ou grégorien; ce qui s'est surtout présenté pour les pays de religion grecque et pour le XVIIIme siècle. Enfin les séismes de minuit et environ présentent souvent une indé-

III. *Répartition des séismes par rapport aux culminations lunaires.*

Perrey a énoncé cette loi que les tremblements de terre se produisent surtout aux environs des culminations lunaires. Il trouve en moyenne pour quelques séries italiennes et celle d'Arequipa (Pérou; 1810—1845) le nombre 0,06 pour la valeur du rapport de la différence entre les nombres de séismes à moins et à plus de 45° de la culmination supérieure à leur nombre total. Il en a conclu formellement à une relation des séismes avec la position de la lune par rapport au méridien, et ses partisans, plus explicitement que lui encore, à une marée du foyer terrestre interne supposé encore fluide. On lui a bien objecté la petitesse du rapport 0,06; mais il n'a point accepté l'objection, et avec raison ce me semble, du moment qu'il croyait générale l'existence de ce maximum. La faiblesse du rapport indiquait seulement que la position de la lune, en tant que cause de séismes, n'intervenait que pour un très petit nombre d'entre eux. Comme cette question d'une marée interne est capitale, j'ai repris l'étude de cette loi, à laquelle on n'a jamais objecté que la petitesse du rapport 0,06, et qui ne tend à rien moins qu'à la démonstration expérimentale de la fluidité actuelle de l'intérieur du globe terrestre. Or cette répartition des séismes par rapport aux culminations lunaires est loin d'être générale, il s'en faut de beaucoup. Perrey a eu le bonheur de tomber sur des séries favorisant ses

termination de 24 heures, qui ne permettait pas de les faire figurer dans l'étude qui va suivre.

vues. Il suffit, pour s'en convaincre, de jeter les yeux sur le tableau suivant du nombre de fois que pour cent de mes séries le maximum du nombre de séismes tombe dans chaque huitième de jour lunaire de 24 heures 50 minutes.

Huitièmes	1	2	3	4	5	6	7	8
	14	8	14	11	14	10	14	15

Le milieu du 1er huitième correspond à la culmination supérieure.

Cette négation manifeste de la loi de Perrey est corroborée par l'étude du rapport de la différence entre le maximum et le minimum des nombres de séismes dans chaque huitième de cadran lunaire au nombre total de chaque série. S'il y a une loi de relation entre ces deux phénomènes, ce rapport tendra vers une limite déterminée à mesure que les séries considérées croîtront soit en nombres de séismes, soit en valeur d'observation. S'il n'y a pas de loi, ce rapport sera de plus en plus petit, car il serait nul pour un nombre infini de séismes. Or c'est ce second cas qui se présente dans les tableaux annexés à cette étude. Ce rapport toujours très petit, égal à 0,00655 pour l'ensemble, est généralement d'autant plus faible qu'on le calcule pour une série plus considérable. D'après le calcul des probabilités et ce qui précède c'est bien là le critérium de l'absence de toute relation.

De même le rapport, positif ou négatif, de la différence entre les nombres des séismes avant et après la culmination supérieure au nombre total de chaque série est d'autant plus petit que la série comporte plus de séismes. Pour l'ensemble il est positif, c'est-à-dire qu'il y a plus

de séismes avant qu'après la culmination supérieure et égal à 0,00546 en valeur absolue. Il fallait s'attendre à ce qu'il soit plus petit que le précédent dans l'hypothèse de l'absence de relation; c'est en effet ce qui se présente.

Les graphiques de la planche V confirment nettement cette opinion que les séismes ne sont nullement en relation avec les culminations lunaires. Dans ces graphiques se présente à la culmination inférieure une particularité que je dois expliquer. Tous les autres intervalles sont de 1 heure de temps moyen, celui-là seul de 50 minutes environ. Le nombre qui résulte de la statistique correspondant à cet intervalle est par conséquent trop petit de $^1/_6$ relativement aux autres. Je l'ai donc augmenté dans ce rapport en tenant compte de la moyenne des intervalles qui le comprennent. Il en résulte bien pour le graphique total un maximum à la culmination inférieure. Mais sa valeur relative n'étant que de $^1/_{20}$, tandis que d'autre part il n'y a pas de maximum à la culmination supérieure, il ne viendra à personne l'idée que ce fait ne soit pas dû au simple hasard.

Nous sommes donc en droit d'affirmer que :

Les séismes n'ont aucune relation avec les culminations de la lune.

Les partisans de la marée interne objecteront qu'il faut aussi tenir compte de la position du soleil, l'effet de cet astre, variable avec sa position relativement à celle de la lune pouvant masquer le maximum à la culmination supérieure. Cela n'est point admissible. Si en effet pour les phénomènes météorologiques on soupçonne actuellement l'influence de marées lunaires et solaires sur l'atmosphère, c'est que dans ce cas les 2 marées sont d'un

ordre de grandeur comparable, tandis que sur le noyau interne, en raison de la grande densité du milieu, la marée solaire serait toujours en tout état de cause négligeable devant la marée lunaire. Il ne faut pas d'ailleurs oublier que l'absence de relation entre les séismes et les culminations lunaires n'a aucun rapport avec les oscillations de la verticale en un point donné. On objectera aussi qu'au niveau des grandes corrugations de l'écorce terrestre, c'est-à-dire au droit des rivages océaniques à pente raide, là où peut-être l'écorce du noyau interne, s'il est fluide, présente un minimum de résistance et où son épaisseur passe brusquement à des valeurs très différentes correspondant au fond des mers d'une part et aux grandes masses continentales de l'autre, le tout dans l'hypothèse de la fluidité interne, on objectera, dis-je, que le long de la surface de raccord entre les fonds océaniques et continentaux il pourrait se produire pour la marée interne un phénomène analogue à l'établissement des ports pour les marées océaniques. Mais un établissement interne aurait pour effet de retarder le maximum relatif à la culmination supérieure et de le reporter vers les 2me et 3me huitièmes de cadran lunaire et ne le laisserait pas à peu près uniformément réparti sur tout le pourtour du cadran, comme nous l'avons vu dans le tableau précédent.

Cependant pour ne laisser aucune prise aux partisans d'une marée lunaire interne, et bien certain toutefois qu'il faut chercher ailleurs que dans la sismologie la démonstration, à faire encore, de la fluidité actuelle du centre de la terre, je me propose d'attaquer directement dans une étude ultérieure la question comme un phénomène maréique.

Successivement du reste je me réserve d'utiliser mon vaste catalogue sismique à la réfutation des relations cosmiques ou météorologiques avancées trop légèrement, je le crois du moins, relativement aux mouvements de l'écorce terrestre, de façon que le terrain une fois déblayé, les géologues restent seuls à étudier ces intéressantes manifestations des forces naturelles. Ce domaine n'appartient qu'à eux seuls.

Répartition horaire diurne-nocturne pour la Suisse.

Intervalles horaires (Temps moy.)	Suisse et Savoie.	Série du Simmenthal. Obs. de Gempeler du 13 avril au 16 octobre 1885.	Série de la vallée de la Visp. Obs. de Tscheinen du 25 juillet 1855 au 24 décembre 1868.		Suisse. Documents de la Commission sismologique de 1878 à 1886.
			Chocs.	Retombées.	
0					
	35	5	15	2	46
I					
	36	15	20	2	41
II					
	44	13	21	2	46
III					
	44	13	19	4	63
IV					
	49	10	23	7	50
V					
	30	12	15	8	39
VI					
	34	10	7	8	21
VII					
	24	5	16	9	15
VIII					
	20	10	14	3	7
IX					
	19	11	10	3	14
X					
	28	6	17	4	12
XI					
	26	8	12	2	18
XII					
	26	3	23	2	12
XIII					
	8	3	18	6	12
XIV					
	20	6	16	4	16
XV					
	21	5	20	5	10
XVI					
	22	4	21	4	9
XVII					
	13	5	20	3	13
XVIII					
	14	3	16	4	18
XIX					
	27	3	22	5	17
XX					
	33	3	20	4	21
XXI					
	50	5	26	4	32
XXII					
	44	5	19	3	24
XXIII					
	43	3	20	5	34
XXIV					
Totaux ...	710	203	430	103	590 Total=2036
$\frac{j}{n}$	0,58	0,89	0,82	1,06	0,37 0,0595

Répartition des séismes par rapport aux culminations lunaires.

Intervalles horaires. (temps moyen.)	Suisse et Savoie.	Série du Simmenthal.	Vallée de la Visp. Chocs.	Vallée de la Visp. Retumbos.	Suisse. Commission sismologique.
Culmination inférieure.					
	8	4	12	4	13
XII					
	31	9	17	2	20
XI					
	29	9	18	7	21
X					
	43	3	14	3	19
IX					
	23	6	21	1	24
VIII					
	28	3	9	3	23
VII					
	29	10	19	4	25
VI					
	30	7	18	6	20
V					
	25	10	21	6	23
IV					
	30	5	12	2	18
III					
	25	11	14	1	29
II					
	31	8	14	4	28
I					
	24	15	17	3	31
Culmination supérieure.					
	16	11	19	4	29
I					
	30	9	19	5	22
II					
	26	14	16	4	22
III					
	35	4	15	2	16
IV					
	31	9	22	3	21
V					
	27	13	16	6	31
VI					
	25	7	15	4	35
VII					
	16	6	21	7	19
VIII					
	21	3	14	8	25
IX					
	32	8	25	1	24
X					
	28	6	15	2	18
XI					
	27	5	16	4	19
XII					
	18	5	11	2	11
Culmination inférieure.					

Répartition des séismes par rapport aux culminations lunaires.

(Suite.)

		Suisse et Savoie.	Série du Simmenthal.	Vallée de la Visp. Chocs.	Vallée de la Visp. Retombes.	Suisse. Commission sismologique.	Totaux.
Avant la culmination supér.		356	100	206	46	294	1002
Après la culmination supér.		332	100	224	52	292	1000
Total		688	200	430	98	586	2002
Huitièmes de cadran lunaire de 24 heures 50 minutes.	I	76	35	54	12	87	264
	II	93	28	54	10	62	247
	III	75	27	55	16	87	260
	IV	81	18	57	12	69	237
	V	92	25	61	14	69	261
	VI	98	18	52	11	67	246
	VII	89	23	51	14	70	247
	VIII	84	26	46	9	75	240
Rapports	K	0,0266	0,0850	0,0349	0,0714	0,0427	0,01348
	R	+0,0349	0	−0,0391	−0,0612	+0,0034	+0,00099

K est le rapport entre la différence du maximum et du minimum du nombre de séismes dans chaque huitième de cadran lunaire à leur nombre total.

R est le rapport, positif ou négatif, de la différence entre les nombres de séismes avant et après la culmination supérieure à leur nombre total.

Note de la Rédaction des Archives. L'auteur a établi pour divers autres pays des tableaux analogues à celui qui est donné ici. Le manque de place nous a obligés à nous borner à la reproduction du seul tableau relatif à la Suisse. M. de Montessus publie la série complète de ses tableaux numériques en un cahier à part autographié qui sera expédié à nos abonnés avec notre prochain numéro. *(Réd.)*

EXPLICATION DES PLANCHES

Planche IV.

Répartition horaire diurne-nocturne des séismes.
Échelle de 1^{mm} pour 10 séismes.

Planche V.

Répartition des séismes par rapport aux culminations de la lune.

Échelle de 2^{mm} pour 10 séismes.

A la culmination inférieure le point inférieur représente le nombre observé, le point supérieur est le nombre calculé, comme il a été dit, en ramenant l'intervalle à la valeur des autres.

Groupe I. Séries de régions mal définies au point de vue de la géographie physique.

Groupe II. Séries de régions bien définies au point de vue de la géographie physique.

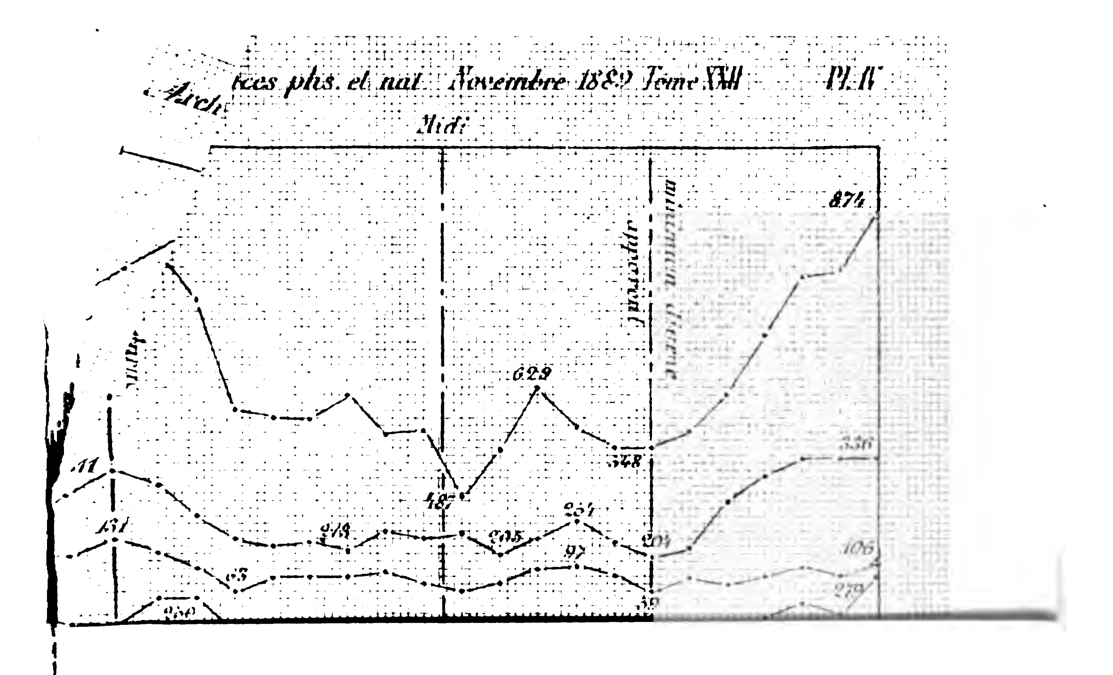
Groupe III. Séries locales de courte durée et d'un seul observateur.

Groupe IV. Séries locales de longue durée et d'un seul observateur.

Groupe V. Séries volcaniques de courte durée et d'un seul observateur.

Groupe VI. Séries de commissions sismologiques.

Groupe VII. Séries des observatoires géodynamiques italiens.


Arch. des sc. phys. et nat. Novembre 1889 Tome XXII Pl. II
Midi
Minimum diurne
874
629
487
348
356
204
205
251
97
106
59
279

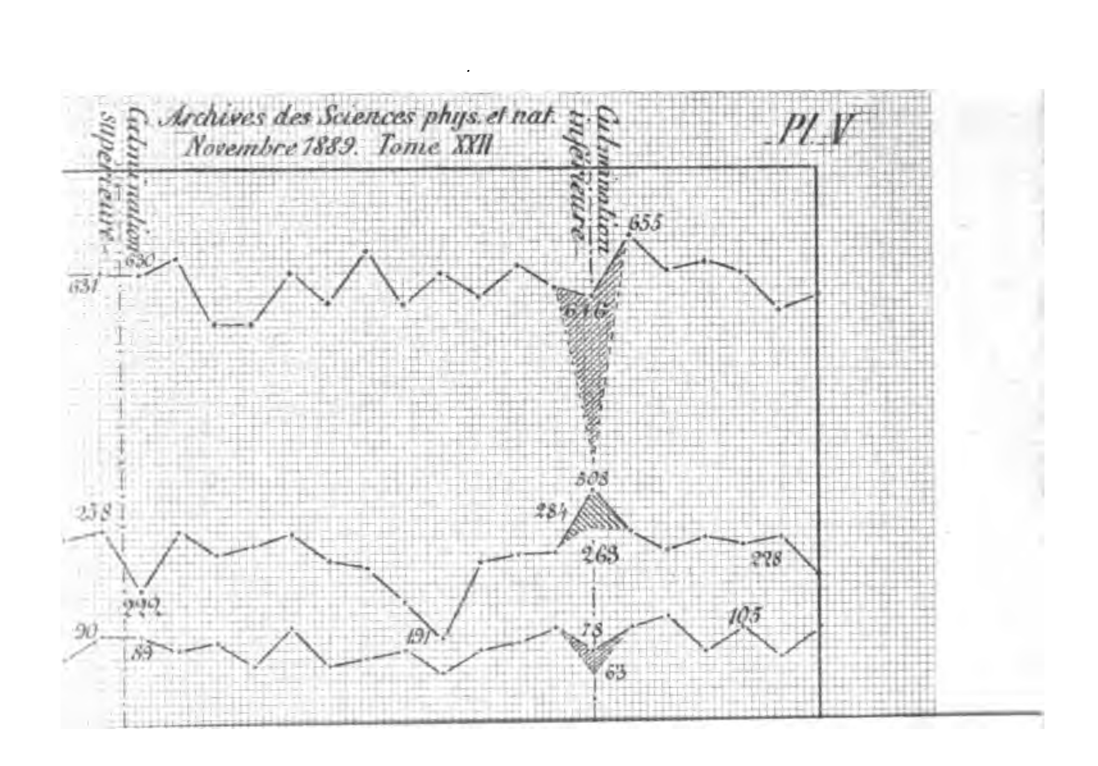
Culmination supérieure

631

253

90

EXTRAIT


Archives des Sciences phys. et nat.
Novembre 1889. Tome XXII
Pl. V
Culmination supérieure
Culmination inférieure
631
630
655
646
308
284
238
232
263
228
90
89
191
78
63
105

EXTRAIT

ON S'ABONNE :

GENÈVE........... { Bureau des *Archives*. / Librairie A. CHERBULIEZ et Cie.

POUR LE RESTE DE LA SUISSE :

LAUSANNE, Bureau de la *Bibl. Univ.*, chez GEORGES BRIDEL
NEUCHATEL, Librairies SANDOZ et BERTHOUD.
BERNE............. DALP, libraire.
BALE.............. GEORG, libraire.
CHAUX-DE-FONDS... REUSSNER, libraire.
LOCLE............. GRAA, libraire.
ZURICH............ { SCHULTHESS, libraire. / ORELL, FUSSLI et Ce, libraires.

Et dans tous les bureaux de poste de la Confédération

FRANCE.

PARIS, G. MASSON, 120, Boulevard Saint-Germain.

ITALIE.

TURIN............. BOCCA, libraire.
GÊNES............. L. BEUF, libraire.
FLORENCE......... BOCCA frères, libraires.
MILAN............. DUMOLARD, libraire.

ALLEMAGNE.

LEIPZIG............ K.-F. KOEHLER, libraire.

On peut s'adresser également à BALE, chez GEORG, libraire, et aux directions des postes de la Confédération germanique.

ANGLETERRE.

LONDRES.......... WILLIAMS et NORGATE, libraires.

HOLLANDE.

AMSTERDAM........ Van BAKKENES et Ce, libraires.

RUSSIE.

ST.-PETERSBOURG.. Jaques ISSAKOFF, libraire.

SUÈDE.

STOCKHOLM........ LOOSTRÖM et Ce, libraires.

ETATS-UNIS.

NEW-YORK......... F.-W. CHRISTEN, libr., Broadway, 763.

BELGIQUE, DANEMARK et autres pays.

S'adresser à la Librairie G. MASSON, 120, Boulevard St-Germain

NOVEMBRE 1889

Genève. — Imp. Ch. Schuchardt.

EXTRAIT
DU
BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ BELGE DE GÉOLOGIE
DE PALÉONTOLOGIE ET D'HYDROLOGIE

Tome XX. — Année 1906. — Procès-Verbaux, séance du 16 octobre 1906, pp. 183-191.

F. DE MONTESSUS DE BALLORE. — **Sur les lois de répartition mensuelle des tremblements de terre.**

Il semble exister dans toutes les sciences un certain nombre de questions dont les solutions, d'ailleurs fausses, résistent indéfiniment aux réfutations les mieux établies et font même perdre à des savants distingués la froide sérénité qu'ils devraient conserver toujours, quel

que soit le résultat des observations complètes et bien faites. Il est si commode de se retrancher derrière des statistiques une fois données pour croire tenir la clef d'un phénomène naturel, lorsqu'on se trouve en présence d'une relation, soi-disant indiscutable, avec un autre processus de la nature. C'est bien le cas des lois de répartition mensuelle des sismes, et l'on ne voit guère se publier de catalogues de tremblements de terre sans cet accessoire obligé. Par un heureux hasard, les tremblements de terre semblent, au moins pour nos régions froides, présenter une allure analogue à celle du baromètre tout le long de l'année, d'où la croyance indiscutée en une action sismogénique de la pression barométrique sur l'écorce terrestre. Il est inutile de démontrer que les tremblements de terre étant un phénomène purement géologique, l'effet à expliquer est hors de proportion avec l'action invoquée; il est non moins superflu de faire observer (1) que le rapport du minimum de nombre mensuel de sismes à leur maximum, et celui de leur différence au nombre total, tendent respectivement vers 1 et 0 lorsque les catalogues considérés sont de plus en plus étendus; rien n'y fait : le maximum sismique hivernal et le minimum estival jouissent de la même vogue qu'il y a un demi-siècle depuis les statistiques de Perrey. On oppose même aux malheureux contradicteurs de cet article de foi les résultats les plus récents de la sismologie moderne, qui, armée de ses délicats appareils, met les microsismes en relation probable avec les fluctuations barométriques, et plus certainement encore avec les variations de la verticale, cela sans faire la distinction entre deux phénomènes essentiellement différents, les macrosismes, d'origine géologique plus ou moins profonde, et les microsismes, minuscules frémissements de la partie la plus superficielle de l'écorce terrestre et qu'une infinité d'actions extérieures, encore mal débrouillées, peuvent provoquer, qu'elles soient dues à des causes naturelles ou artificielles.

Il ne paraîtra donc pas inutile, sans doute, d'apporter, dans le sens de la négation des lois de répartition saisonnière des tremblements de terre, une statistique portant sur 75 000 sismes, chiffre qui n'a jamais été atteint et qui doit être, il faut bien le dire, réduit aux environs de 60 000, pensons-nous, en raison des parties communes des catalogues sismiques utilisés. C'est incidemment que nous avons été récemment amené à nous occuper de nouveau de cette question, sans que son

(1) *Archives des sciences physiques et naturelles de Genève*, 15 mai 1891.

importance ait été jugée suffisante pour pousser plus loin cette recherche relative à une question déjà jugée d'après ce qui a été dit précédemment. Mais un argument nouveau s'étant présenté de lui-même, il est bon de le faire connaître.

Le tableau général, donné plus loin, dégage immédiatement cette observation que : *la fréquence mensuelle sismique tend d'autant plus à manifester un maximum pendant la saison froide, d'octobre à mars, dans l'hémisphère septentrional, que les régions soumises à la statistique sont elles-mêmes plus septentrionales*. Pour l'hémisphère austral, faute de catalogues en nombre suffisant, le résultat obtenu est bien dans le même sens, mais pas assez probant pour qu'on ait cru devoir le reproduire. Cette loi de répartition résulte clairement du tableau suivant :

MOIS.	Nombre de régions.	Latitude moyenne.
Janvier	11	49.2
Janvier-Février . . .	1	51.5
Février	4	32.5
Mars.	6	42.1
Avril.	3	31.8
Mai	5	32
Juin.	2	16
Juillet	5	38.6
Août.	8	30.8
Août-Septembre . . .	2	26.2
Septembre.	2	48.7
Octobre.	5	39.5
Octobre-Novembre . .	1	51
Novembre	8	42.7
Décembre	11	43.1
Pas de maximum. . .	2	23.7

En outre, plusieurs régions équatoriales, n'appartenant donc en propre à aucun des deux hémisphères, comme celles de l'archipel malais, n'accusent aucun maximum.

Or, il est facile d'interpréter ce résultat nouveau et, d'ailleurs, non cherché *a priori*. On sait combien les tremblements de terre légers — et c'est dans une énorme proportion la majorité — sont mieux ressentis, dans un rapport qui atteint 2 à 1, sinon davantage, par un observateur à l'abri d'une habitation et au repos, que par un autre au dehors et en état d'activité. Quelles sont donc les saisons où le plus grand nombre des habitants restent le plus longtemps dans les habitations et sans travailler assez énergiquement pour laisser échapper les faibles macrosismes? N'est-ce pas durant les mois froids dans les pays de haute latitude; pendant les mois les plus chauds dans les régions tropicales ou subtropicales? C'est bien ce que manifeste clairement le tableau général.

Ainsi l'existence d'un maximum mensuel de fréquence sismique résulte uniquement de conditions plus ou moins favorables relativement à l'observation des légères secousses du sol, ce qui dispense de chercher péniblement, ainsi qu'on l'a voulu faire de tant de façons, l'explication du maximum hivernal généralement admis pour nos pays de l'Europe moyenne. Cette raison d'ordre physiologique, quant à la perception des faibles macrosismes, trouve sa confirmation dans ce qui a été dit des pays équatoriaux, où les saisons chaude et froide, n'existant pour ainsi dire pas, ne peuvent donner naissance à un maximum hivernal et à un minimum estival; leurs populations y mènent toute l'année la même vie, ni plus ni moins extérieure ou renfermée, et la fréquence sismique apparente y reste uniforme aussi toute l'année.

L'influence de la latitude pour l'observation ne prend pas la forme d'une loi absolue et plusieurs régions tempérées montrent un maximum estival. C'est que le phénomème sismique échappe à toute régularité d'allure, de sorte que la répartition mensuelle est soumise à bien des hasards, tant que l'on ne possède pas des séries extrêmement longues. C'est si vrai qu'à lire ce tableau, on trouve pour une même région des maximums en des mois différents, suivant que l'on a consulté des catalogues correspondant à des périodes de temps elles-mêmes différentes.

On nous a fait observer avec raison que la latitude moyenne n'a pas de sens. Pour répondre à cette objection, il suffit de classer les régions suivant qu'elles sont au Nord ou au Sud du parallèle de 45°. On voit alors que presque toutes les premières ont leur maximum apparent

dans les mois froids, d'octobre à mars, tandis que les secondes manifestent une véritable indifférence, parce que les conditions de l'existence et de facilité à observer les faibles secousses s'y maintiennent à peu près constantes tout le long de l'année. Ce tableau est certainement beaucoup plus suggestif.

		LATITUDE DES RÉGIONS	
		> 45°	< 45°
Maximum apparent en saison	froide. . . .	25	23
	chaude . . .	3	23
Pas de maximum		»	2

Nos d'ordre.	RÉGIONS.	AUTEURS des catalogues.	PÉRIODE des catalogues.	NOMBRE de sismes.	LATITUDE moyenne de la région.
		Janvier.			
1	Suède.	Svedmark.	1892 - 1903	52	62
2	Nord de l'Europe et de l'Asie.	Perrey.	1000 - 1844	252	57
3	Grande-Bretagne . .	Ropper.	1739 - 1889	297	54
4	Bassin du Rhin . .	Perrey.	801 - 1846	529	49
5	Basse-Autriche . . .	E. Suess.	1163 - 1873	118	48
6	Suisse et Tyrol . . .	Fuchs.	1865 - 1884	524	47
7	France	Perrey.	217 - 1843	656	47
8	Carinthie.	Höfer.	1201 - 1877	178	47
9	Laibach	Von Mojsisovics.	1851 - 1886	75	46
10	Caucase	Mouchketovv et Orlovv.	1669 - 1889	459	42.5
11	Caucase	Fuchs.	1865 - 1884	152	42.5
		Janvier et Février.			
12	Pologne	Láska.	1170 - 1877	49	51.5

Nos d'ordre.	RÉGIONS.	Auteurs des catalogues.	Période des catalogues.	Nombre de sismes.	Latitude moyenne de la région.
		Février.			
13	Piémont et Ligurie . .	Mercalli.	1117 - 1895	1 572	45
14	Calabre	Mercalli.	1169 - 1895	2 592	39
15	Tokyo	Milne.	1876 - 1881 1883 - 1891	1 104	36
16	Nouvelle-Grenade et Venezuela.	Fuchs.	1865 - 1884	272	10
		Mars.			
17	Sibérie	Mouchketovv et Orlovv.	1700 - 1889	600	60
18	Hongrie	Schafarzik.	1882 - 1888	93	47.5
19	Roumanie	Hepites.	1892 - 1904	135	46
20	Italie	Perrey.	325 - 1847	984	40
21	Kyôtô (Japon) . . .	Omori.	797 - 1868	1 316	35
22	Shillong (Assam) . .	Oldham.	1898 - 1902	1 263	25
		Avril.			
23	Carniole	Seidl et von Mojsisovics.	1895 - 1903	1 321	46
24	Grèce.	Eginitis.	1893 - 1899	3 754	37.5
25	Amérique centrale . .	Fuchs.	1865 - 1884	190	12
		Mai.			
26	Styrie.	Hœrnes.	1021 - 1870	173	47
27	Turquie d'Europe . .	Agamennone.	1895 - 1896	374	40.5
28	Sicile.	Fuchs.	1865 - 1884	324	37
29	Mexique	Orozco y Berra.	1523 - 1889	1 378	23.5
30	Philippines	Obs. de Manille.	1890 - 1905	1 322	12.5

Nos d'ordre	RÉGIONS.	AUTEURS des catalogues.	PÉRIODE des catalogues.	NOMBRE de sismes.	LATITUDE moyenne de la région.
		Juin.			
31	Iles Sandwich . . .	Fuchs.	1865 - 1882	245	20
32	Amérique centrale . .	de Montessus.	1526 - 1885	801	12
		Juillet.			
33	Croatie, Esclavonie, Dalmatie, Bosnie, Herzégovine.	Kispatic.	1883 - 1903	1 864	44
34	Bulgarie	Watzoff.	1892 - 1905	664	43
35	Bosnie et Herzégovine.	Baillif.	1896 - 1901	204	42.5
36	Italie	Eredia.	1891 - 1900	3 886	40
37	Mexique	Obs. de Mexico.	1895 - 1902	1 117	23.5
		Août.			
38	Vésuve	Fuchs.	1865 - 1884	513	41
39	Italie	Cancani.	1891 - 1900	3 361	40
40	Janina	Pouqueville.	1801 - 1815	63	39 5
41	Turquie d'Asie . . .	Agamennone.	1895 - 1896	464	38.5
42	Zante	Barbiani.	1825 - 1863	1 326	38
43	Antilles	Poey.	1530 - 1858	639	17.5
44	Mariannes	Obs. de Manille.	1892 - 1902	80	15
		Août-Septembre.			
45	Péninsule balkanique, Syrie, mer Egée, Levant.	Perrey.	306 - 1850	423	40
46	Philippines	Saderra Masó.	1599 - 1889	1 017	12.5
		Septembre.			
47	Iles Britanniques . .	Davison.	1889 - 1903	225	54.5
48	Italie (moins la Sicile et le Vésuve).	Fuchs.	1865 - 1884	2 350	43

Nos d'ordre.	RÉGIONS.	Auteurs des catalogues.	Période des catalogues.	Nombre de sismes.	Latitude moyenne de la région.
		Octobre.			
49	Norvège	Kolderup.	1899 - 1899	137	64
50	Russie d'Europe, Pologne, Finlande.	Mouchketovv et Orlovv.	1000 - 1889	193	57.5
51	Californie . . .	Holden.	1850 - 1886	949	40 5
52	Japon.	Tr. seism. Soc. of Japan	1885 - 1889	2 997	38
53	Inde	Oldham.	1505 - 1869	320	20
54	Indes occidentales . .	Fuchs.	1865 - 1884	205	17.5
		Octobre-Novembre.			
55	Erzgebirge	Credner.	1875 - 1897	75	51
		Novembre.			
56	Autriche au Nord des Alpes.	Von Mojsisovics.	1897 - 1903	438	48
57	Bassin du Danube . .	Perrey.	801 - 1855	268	47
58	Suisse	Früh.	1880 - 1891	585	47
59	Bassin du Rhône . .	Perrey.	801 - 1845	184	45.5
60	Croatie, Esclavonie, Dalmatie, Bosnie, Herzégovine.	Kispatic.	367 - 1882	1 084	44
61	Asie centrale . . .	Mouchketovv et Orlovv.	1832 - 1889	201	40
62	Japon.	Omori.	1873 - 1899	18 086	38
63	Amérique du Nord . .	Fuchs.	1865 - 1884	552	37.5
		Décembre.			
64	Scandinavie et Islande.	Perrey.	1161 - 1845	214	61
65	Hongrie, Croatie, Transylvanie.	Fuchs.	1865 - 1884	384	47.5
66	France	Fuchs.	1865 - 1884	193	47
67	Suisse	Volger.	802 - 1853	1 2[illegible]0	47

Nos d'ordre.	RÉGIONS.	Auteurs des catalogues.	Période des catalogues.	Nombre de sismes.	Latitude moyenne de la région.
	Décembre (*suite*).				
68	Péninsule balkanique et îles adjacentes.	Fuchs.	1865 - 1884	624	41
69	Espagne et Portugal .	Perrey.	1000 - 1846	201	40
70	Péninsule balkanique, Syrie, îles de la mer Égée, Levant.	Schmidt.	1859 - 1877	3 470	40
71	Nouvelle-Angleterre .	Brigham.	1638 - 1869	212	40
72	Zante.	Schmidt et Fuchs.	1859 - 1878	246	38
73	San-Francisco, San-José, Santa-Clara (Californie).	Holden.	1850 - 1886	308	37.5
74	Algérie	Fuchs.	1865 - 1884	135	36
	Pas de maximum.				
75	Yokohama (Japon) .	Streets.	1878 - 1881	130	35
76	Philippines . .	Saderra Masó.	1880 - 1889	465	12.5

Nota. — On trouvera peut-être dans ce tableau des chiffres ne concordant pas exactement avec ceux de certains des catalogues utilisés. Cela résulte de ce que la plupart des calculs ont été refaits et que nous avons parfois éliminé quelques tremblements de terre pour des raisons variées, ou au contraire compté d'autres pour deux.

BIBLIOTHÈQUE UNIVERSELLE

ARCHIVES

DES

SCIENCES PHYSIQUES ET NATURELLES

TROISIÈME PÉRIODE

TOME XXXIV

XIV – 15

RELATIONS ENTRE LE RELIEF ET LA SISMICITÉ

PAR

F. DE MONTESSUS DE BALLORE
Commandant l'artillerie de Belle-Ile-en-mer.

GENÈVE
BUREAU DES ARCHIVES, RUE DE LA PÉLISSERIE, 18

LAUSANNE
GEORGES BRIDEL
Place de la Louve, 1

PARIS
G. MASSON
Boulevard St-Germain, 120

Dépôt pour l'ALLEMAGNE GEORG ET Cie, à BALE

1895

La Bibliothèque Universelle et Revue Suisse (*Partie littéraire*) paraît à LAUSANNE par livraisons mensuelles de 224 pages, et forme chaque année quatre beaux volumes de près de 2700 pages ensemble.

Tout ce qui concerne la *rédaction* doit être adressé *franco* à M. Ed. Tallichet, rue du Midi, 1, à Lausanne.

Pour les *abonnements*, les *réclamations* et les *annonces*, s'adresser au BUREAU DE LA BIBLIOTHÈQUE UNIVERSELLE, 2, rue Grand Saint-Jean, à Lausanne.

SOMMAIRE DES MATIÈRES CONTENUES DANS LA LIVRAISON D'AOUT

Les Archives des Sciences physiques et naturelles (*Partie scientifique* de la *Bibliothèque Universelle*) paraissent à GENÈVE.

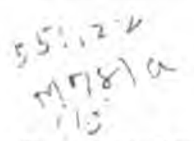
Envoi *franco par la poste* aux prix d'abonnements suivants, payables à Genève (en espèces, mandats sur la poste, traites à vue).

Suisse. . . . . Fr. 20
Tous les pays faisant partie de l'Union postale. » 25

(Mêmes prix pour la partie littéraire.)

Chaque numéro se vend séparément 2 fr. 50.

Tout ce qui concerne la rédaction et l'administration doit être adressé *franco* au Bureau de cette publication, rue de la Pélisserie, n° 18, à Genève.



EXTRAIT DES **Archives des Sciences physiques et naturelles**
Troisième période, t. XXXIV. — Août 1895.

RELATIONS

ENTRE LE

RELIEF ET LA SISMICITÉ

PAR

F. DE MONTESSUS DE BALLORE
Commandant l'artillerie de Belle-Ile-en-mer.

Les lecteurs des *Archives* ont pu depuis quelques années suivre dans plusieurs articles de l'auteur le but rationnellement cherché : réfutation par la statistique pure des relations légérement émises et admises entre les séismes et d'autres phénomènes naturels; puis description sismique de quelques parties du globe (Suisse, Europe centrale, Italie), les autres ayant paru ailleurs ou devant paraître de façon à embrasser tout l'univers. Ce plan suppose comme fin la recherche d'autres relations basées sur un nombre considérable de faits et le travail actuellement présenté met au jour une intime corrélation entre les tremblements de terre et les principales lignes de corrugation de l'écorce terrestre, chaînes de montagnes ou grandes profondeurs de l'océan. Dès lors établir une dépendance entre les forces qui ébranlent la surface du globe et les causes dynamiques auxquelles il doit son relief ne sera pas ici une hypothèse, mais le résultat des

chiffres, et ce sera donner aux tremblements de terre, dits orogéniques, des sismologues suisses, la consécration et la généralisation qu'ils méritent en dehors de toute idée préconçue à priori.

Les lois dont l'exposé va suivre reposent sur une statistique portant sur 98,868 observations de séismes ayant affecté 6789 centres d'ébranlement répartis en 353 régions plus ou moins instables de la surface du globe.

Ces lois sont relatives pour la plupart, en ce sens que l'instabilité ou la sismicité absolue, généralement inconnue d'ailleurs, n'est pas forcément proportionnelle aux différences de relief, mais une région est plus instable que ses voisines si elle présente de plus fortes pentes ou différences d'altitudes émergées ou immergées. C'est donc qu'il reste d'autres relations à découvrir. Autrement dit les conditions relatives de relief qui influent sur la sismicité sont nécessaires dans la plupart des cas, mais non suffisantes. Il paraît probable que la nature géologique des terrains apporte son influence non seulement sur la propagation des séismes, ce qui est connu depuis longtemps, mais encore sur leur production. En tout cas la statistique le dira ultérieurement.

A elles seules ces lois suffisent à faire définitivement de la sismologie un chapitre de la géologie.

L'énoncé de ces lois peut se mettre sous la forme générale suivante :

Les régions sismiques instables accompagnent les grandes lignes de corrugation de l'écorce terrestre, c'est-à-dire ses principaux traits de relief émergé ou immergé.

Dans un groupe de régions sismiques adjacentes, les plus instables sont celles qui présentent les plus fortes différences de relief.

L'étude qui suit montrera combien ces lois sont générales et comment elles se présentent relativement aux divers accidents de terrain.

Plus on passe du relief général ou géographique au relief particulier ou topographique, plus souvent se montrent des exceptions, les lois restant cependant vraies d'une façon générale, parce que les influences locales perturbatrices, par exemple celle supposée de la nature du terrain, prennent plus d'importance à mesure qu'on entre davantage dans le détail. En d'autres termes ces lois très exactes pour les régions sismiques instables le sont moins pour les centres d'ébranlement qui ne les suivent pas toujours quant à leur distribution dans une région sismique donnée.

Les lois particulières sont les suivantes :

I. *Les pays de montagnes sont plus instables que les pays de plaines.*

II. *Les côtes des mers rapidement profondes, surtout si elles bordent une chaine importante, sont instables, et celles des mers peu profondes sont stables, surtout si elles bordent un pays plat.*

III. *Le flanc court et raide d'une chaîne en est le plus instable.*

IV. *Le flanc court et instable d'une chaine est surtout ébranlé en ses parties les plus raides.*

V. *Le versant le plus raide d'une vallée en est le plus instable.*

VI. *L'angle extérieur de la rencontre de deux chaînes est moins stable que l'angle intérieur plus petit que 90°.*

VII. *Le flanc d'une chaîne principale rencontrée par un contrefort important est plus instable à l'opposé de ce contrefort.*

VIII. *Les massifs sont plus instables sur leurs flancs que dans leur intérieur.*

IX. *Les brusques changements de pente sont favorables à l'instabilité.*

X. *Les parties moyennes des vallées sont fréquemment plus instables que les parties supérieures, et généralement que les parties inférieures.*

XI. *Les étroites péninsules montagneuses sont instables.*

XII. *Les isthmes surbaissés,* c'est-à-dire compris dans une dépression de terrain, *sont instables.*

XIII. *Les détroits resserrés sont fréquemment le siège de séismes qui y ont leur épicentre.*

XIV. *Les régions de haute sismicité ne coïncident qu'exceptionnellement avec celles qui présentent des volcans très actifs. Autrement dit les phénomènes sismiques et volcaniques sont indépendants les uns des autres.*

Cette dernière loi ne sera point développée ici.

I[re] loi. *Les pays de montagnes sont plus instables que les pays de plaines.*

Cette loi est très générale. Presque toutes les régions sismiques vraiment instables se groupent sur les flancs des grandes chaînes. Cela se présente notamment, mais à des degrés divers, pour les Alpes Scandinaves, les Highlands d'Ecosse, le Jura, les Vosges, le Taunus, les Pyrennées, les chaînes du sud-est de l'Espagne, le massif de la rive droite du bas Tage, le système des Alpes avec toutes ses ramifications, le rebord septentrional du massif Bohémien, les Carpathes, les Alpes de Transylvanie, les Apennins, les montagues de la Sicile, les Alpes Dinariques, les massifs de l'Olympe, de l'Othrys et du Parnasse, le rebord septentrional du Péloponèse, les Balkans, l'Oural méridional, le Caucase, les montagnes

d'Arménie et du Kurdistan, le rebord occidental du plateau d'Anatolie, le Liban et l'Antiliban, les montagnes du Farsistan, du Khorassan et de l'Aderbeischan, le Demavend, les rebords septentrional et oriental du grand plateau central asiatique du Turkestan au lac Baïkal et du Sse-Tchuen au Yun-nam, la chaîne bordière de la Chine orientale, la chaîne principale du Nippon et d'Yeso, l'Himalaya, le massif de l'Afghanistan, l'Atlas, les montagnes d'Abyssinie, les massifs du Natal, du Namaqualand et de l'Ounyamouési, les Alleghanys, les montagnes Rocheuses et les Andes de l'Alaska au cap Horn, le massif Mexicain, la Sierra Madre de Cuba, les Andes du Venezuela, les massifs de Caracas et du Paria, la chaîne longitudinale de Sumatra, de Java et des îles de Bali à Timor, la chaîne du Minahassa (Celebes), celle orientale de Mindanao, celle de Luzon du Mayon ou Albay à la Cordillère d'Ilocos, les Alpes d'Australie, les chaînes longitudinales de la Nouvelle-Zélande et de Madagascar.

On voit que presque toutes les montagnes importantes du globe semblent attirer à elles les régions instables tandis que les séismes sont à peu près ignorés des immenses étendues sans relief de l'Europe centrale septentrionale, de la Russie, de la Sibérie, de la Mongolie, du Canada et du Dominion, du Sahara, de l'Australie centrale, des Llanos du Venezuela, de l'Amazonie et des Pampas de la République Argentine, pour ne parler que des plus importantes.

Mais il faut observer qu'il y a quelques exceptions, surtout dans le détail, que toutes les chaînes ne sont pas également instables ni tous les pays plats stables, et qu'en outre la sismicité est variable le long des chaînes sans être proportionnelle à leur relief, telle différence

d'altitude de 7 à 8000^{m} ne donnant pas lieu le long des Andes ou de l'Himalaya à plus d'instabilité qu'une de 1000 sur les flancs de l'Apennin ou de l'Atlas.

Les plaines importantes ou larges vallées instables sont rares et se comptent facilement. On peut citer les campagnes de Pise, de Florence et de Naples, l'Atchin, la plaine de Tokyo, celles du moyen Mississipi et du moyen Iraouaddy. Dans le cas plus fréquent de petites plaines instables on voit les centres d'ébranlement se distribuer surtout vers leur bord, fait qui est l'objet de la IXme loi.

Bref le phénomène sismique reste dans son ensemble très intimement lié aux montagnes.

IIme loi. ***Les côtes des mers rapidement profondes, surtout si elles bordent une chaîne importante, sont instables, et celles des mers peu profondes sont stables, surtout si elles bordent un pays plat.***

Cette loi est très générale.

Pour l'établir on a suivi la carte des profondeurs océaniques de l'atlas physique de Berghaus, actuellement en cours de publication. On rappelle que la sismicité ou l'instabilité est d'autant plus grande qu'elle est exprimée par un nombre plus petit de kilomètres. On a peu donné de chiffres de sismicité sismologique pour établir cette loi parce que d'une partie du monde à une autre les documents ne sont pas suffisamment comparables, non plus par suite les nombres calculés. Cette remarque ne s'applique pas aux lois suivantes dans lesquelles on compare les sismicités de régions voisines. Les rapports seuls y entrent en jeu, et par suite les documents dont les sismicités sont tirées étant de même valeur, il importe peu que les chiffres se rapprochent plus ou moins de la valeur absolue.

Les deux parties les plus instables le Lunröe (sismicité

de 16 km.) et le Sondmöre (32) de la côte Norvégienne (73) correspondent aux deux seules portions de la côte dont s'approche l'isobathe (combe d'égales profondeurs sous-marines) de 2000^m, plus dans le premier cas que dans le second, et précisément le Lunröe est plus instable que le Sondmöre.

La Norvège (73) plus instable que la Suède (106) est bordée par une mer beaucoup plus profonde que le golfe de Bothnie. On doit cependant là signaler une anomalie, c'est que les côtes mêmes de ce golfe (52) sont plus instables que le reste de la Suède (144), et même que la Norvège, ce qui peut-être tient au lent mouvement dont elles sont animées.

L'Islande sans grand relief, et assez stable en dépit de ses volcans fameux, est entourée d'une mer sans profondeur.

Le Groënland très stable est situé au milieu d'une mer sans profondeur, sauf cependant vers le cap Farewell dont se rapproche un peu l'isobathe de 2000^m. Il en est de même pour le Spitzberg et la Nouvelle-Zemble.

Les îles Britanniques, les Shettlands et les Feroë stables émergent d'un vaste haut-fond. Il en est de même des Pays-Bas et du nord de l'Europe centrale qui prolongent des pays absolument plats.

Les côtes de la Manche et du golfe de Gascogne, mers sans profondeur, sont stables. Il faut cependant signaler cette exception que l'isobathe de 4000^m pousse une pointe vers le fond du golfe et à peu de distance de la Galice, sans que pour cela les Pyrénées Cantabriques et le massif des Pics d'Europe d'un haut relief soient instables. La forte sismicité des basses Pyrénées françaises et du bassin de l'Adour corrige un peu cette exception.

La région instable de Lisbonne (55) est voisine de l'isobathe de 4000^{m}, qui ne s'approche que là des côtes du Portugal (173).

Les régions si souvent secouées du sud-est de l'Espagne sont voisines de l'isobathe de 2000^{m} qui s'éloigne de la côte à hauteur de Valence, alors que précisément la stabilité renaît plus au nord. Cette courbe fait ensuite, mais à grande distance, le tour des Baléares stables, se tient loin du littoral stable du golfe du Lion, puis se rapproche beaucoup des Alpes maritimes et des Rivières du Ponant et du Levant si fréquemment ébranlées.

La Corse et la Sardaigne sont stables même sur leur côte occidentale pourtant rapprochée de l'isobathe de 2000^{m}. Il est vrai que les rares séismes qu'on y a signalés se sont justement fait sentir de ce côté; l'exception en est donc un peu mitigée.

Le flanc occidental ou Tyrrhénien des Apennins (28) est moins stable que l'Oriental (45); mais suivant la IIIme loi il devrait être le moins sujet aux séismes. La contradiction est levée par ce fait que l'isobathe de 2000^{m} n'est pas éloigné de la côte occidentale tandis que dans l'Adriatique c'est à peine si celui de 100^{m} s'avance seulement à hauteur du cap Gargano; en fait si l'on tient compte du relief immergé le versant occidental présente les plus fortes différences d'altitudes et est le moins stable. L'anomalie n'est qu'apparente,

L'isobathe de 2000^{m} s'approche de Raguse la partie la plus instable de la Dalmatie, et longe l'Albanie, l'Epire, les îles Ioniennes et la Crète, toutes régions instables. Cette courbe se rapproche ensuite des côtes Syriennes souvent ravagées.

Dans la mer Noire les côtes d'Anatolie sont seules ins-

tables ; or les grandes profondeurs ne se montrent qu'en son voisinage.

Le même fait se reproduit pour le sud de la mer Caspienne relativement au Caucase, au bas Araxe, et au Demavend instables.

La Cyrénaïque probablement peu sujette aux séismes est voisine de l'isobathe de 2000m. C'est encore une exception à signaler, mais fort mitigée par le peu de relief de la région.

Les côtes nord et sud de la Sicile plus souvent ébranlées que la côte sud-ouest sont cotoyées par l'isobathe de 1000m, tandis que celle-ci est séparée de la Tunisie par un seuil peu profond.

Les îles Eoliennes émergent de fonds de 1000m et celle d'Ustica de 2200m. Elles sont instables, et l'isobathe de 3000m n'en est pas loin.

L'isobathe de 1000m pénètre dans le golfe même de Naples et c'est avec l'île d'Ischia la partie la plus instable du littoral Tyrrhénien. Il cotoye les Calabres si instables.

L'isobathe de 2500m longe la côte algérienne de Bône à Oran, c'est-à-dire la partie la plus souvent ébranlée des côtes Barbaresques.

Le Maroc septentrional comme l'Andalousie bénéficie du voisinage de l'isobathe de 2000m qui ne dépasse pas le détroit de Gibraltar.

L'isobathe de 4000m ne s'approche des côtes d'Afrique que vers le Bassam, et c'est précisément dans ces parages que se trouve la seule région instable qui y soit connue, celle d'Accra et de St-George d'Elmira ; cette même courbe se rapproche ensuite du cap de Bonne-Espérance et du Natal où quelques séismes ont été signalés, puis va longer la côte orientale de Madagascar la plus instable de cette île.

*

Les Mascareignes et autres îles stables de l'océan Indien sud-ouest émergent de seuils peu profonds.

L'isobathe de 4000m longe la côte sud du pays des Somalis jusqu'au cap Gardafui, sur la stabilité desquels on est sans renseignements.

Au milieu de l'océan Atlantique méridional entre 0°30'N, et 3°50'S., 19°45'W. et 26° W (P.) on a pu déterminer par les observations consignées dans les journaux de bord une région sous-marine très-instable, qu'il est très remarquable de voir précisément toucher à un abîme de 6000m.

Les Açores, Madère, les Canaries et les îles du cap Vert instables émergent de 2000m.

Les Archipels instables Andaman et Nicobar sont serrés de près par l'isobathe de 2000m, qui passant près de Ceylan pourtant stable, se tient partout éloigné de la péninsule Indoustanique stable.

L'Indochine stable est partout entourée de mers sans profondeur, sauf près de l'Annam stable aussi, mais dont l'isobathe de 2000m s'approche cependant un peu.

Formose instable est tangente du côté oriental à cette même courbe.

Les côtes de la Corée, de l'île Saghalien et de la Mongolie, et celles de la Sibérie, toutes régions très stables, bordent des mers sans profondeur.

Le Kamtschatka instable émerge d'une mer sans profondeur, ce qui peut tenir à l'activité de ses volcans.

L'isobathe de 4000m longe jusqu'au cap Mendocino la partie la plus instable du littoral Californien. Le Shasta et le Washington instables ne bénéficient que du voisinage de celui de 2000m. La Colombie Britannique septentrionale stable en est au contraire plus éloignée.

L'Alaska et les Aléoutes instables confinent à un abîme de 6000^m^.

Terre-Neuve, le Labrador et tout le Dominion septentrional de la mer de Baffin au détroit de Behring sont stables et bordent des mers sans profondeur.

L'isobathe de 4000^m^ longe les Andes depuis le Mexique jusqu'au 36me parallèle méridional et par suite la chaîne continue des régions instables qui s'étend jusqu'au Chili, ne s'en éloignant beaucoup qu'en face du désert d'Atacama stable. L'instabilité descend un peu plus au sud que cette courbe, et ne cesse qu'avec l'abaissement progressif de la Cordillère probablement à hauteur de l'île de Chilœ. Beaucoup de séismes Péruviens et Chiliens et peut-être quelques-uns de l'état mexicain de Guerrero prennent naissance au large et vraisemblablement au pied du talus sous-marin de 4000^m^.

Les Gallapagos et les îles Juan Fernandez stables émergent de mers peu profondes.

Le versant Atlantique si stable de l'Amérique du sud borde une mer sans profondeur, sauf vers le cap San-Roque stable malgré le voisinage momentané de l'isobathe de 4000^m^.

L'isobathe de 6000^m^ ne s'approche des Antilles que près de Portorico et des îles Vierges, parties les plus instables de l'Archipel.

Celui de 4000^m^ touche les deux extrémités de Cuba, plus souvent ébranlées que son centre, le nord de la Jamaïque, le sud d'Haïti et de St-Domingue, et longe les petites Antilles à l'est, toutes régions instables.

Les Bahamas stables sont cotoyées à l'est par l'isobathe de 4000^m^, mais elles n'ont aucun relief, et bordent à l'ouest une mer sans profondeur.

Les Bermudes assez souvent secouées confinent à un gouffre de 6000^m.

La Mosquitie, le Yucatan, le Tabasco, le Tamaulipas et les côtes des Etats-Unis du Texas à la Floride sont très stables et bordées de mers sans profondeur, tandis que l'isobathe de 3000^m se rapproche vers la Vera-Cruz de la partie instable du Mexique central.

L'isobathe de 4000^m s'enfonce comme un coin dans le golfe de Honduras, ce qui correspond à une certaine instabilité de ses côtes, les îles peut-être instables d'Utila et de Roatan étant précisément sur le talus de 1000-4000^m.

Les Kouriles instables confinent à un abîme de 8000^m, fort rapproché aussi de la côte du sud d'Yeso et de l'est du Nippon très instables, tandis que les côtes occidentales de ces deux îles bordées par une mer sans profondeur sont beaucoup moins souvent ébranlées.

L'Isobathe de 2000^m longe la côte sud des îles japonaises Kiu-Siu et Sikoku plus instables que le sud-ouest du Nippon à mer peu profonde, et se replie ensuite autour des îles fréquemment secouées d'o-Sima et de Liou-Kiou, ou d'Okinawa-Sima. D'ailleurs beaucoup de séismes de l'Yeso sud et du Nippon nord-est et sud-ouest ont manifestement une origine sous-marine et leur épicentre est probablement au pied du talus sous-marin de 8000^m dans les deux premiers cas, de 2000^m dans le dernier.

Le versant sud-ouest instable de Sumatra est longé par l'isobathe de 4000^m à hauteur des îles instables de Nias, Batœ, etc., situées sur un très raide talus de 2000-4000^m, tandis que le versant nord-est et l'Archipel Riouw, l'un et l'autre fort stables, sont baignés par une mer sans profondeur.

Java instable est bordée au sud sur toute sa longueur par l'isobathe de 4000m, tandis que sur sa côte nord l'île de Madœra stable émerge d'une mer peu profonde.

Le talus 2000-4000m déjà cité longe la chaîne des îles instables Bali, Lombok, Sœmba, Sœmbawa, Sawœ et Rotti.

L'isobathe de 4000m rase le Minahassa, presqu'île nord-est très fréquemment secouée de Celebes, le reste de l'île plus stable gisant par une mer sans profondeur, ainsi que les îles stables Saleijer, Bawejan et Karimon Djawa.

Les côtes septentrionales de Ceram et de Bœrœ, et celle occidentale de Gilolo, toutes fréquemment ébranlées, sont rapprochées de l'isobathe de 2000m.

Bornéo probablement stable, sauf de petits centres sans importance, gît par une mer sans profondeur à l'exception des côtes de la mer de Soulou.

Flores, Lomblen, Allor et Timor instables, mais volcaniques, font exception par des fonds de 200m seulement.

Le reste de la chaîne des Wetter aux Arœ, Banda et Amboine, îles instables, bénéficient du voisinage de l'isobathe de 2000m.

Les régions les plus instables de Mindanao correspondent à l'est au voisinage de l'isobathe de 2000m, et au sud à celui de 4000m, tandis que le nord moins ébranlé borde une mer sans profondeur.

L'Archipel des Philippines si fameux par ses séismes est serré de près par l'isobathe de 2000m qui en fait le tour.

L'Archipel de Soulou probablement instable est enserré de toutes parts par l'isobathe de 4000m, tandis que l'île de Palawan qu'on a tout lieu de supposer stable émerge d'un seuil sans profondeur.

Les Mariannes très instables confinent à l'ouest, à l'est et au sud à des fonds de 4000, 6000 et 8000^m, et les Sandwich non moins souvent secouées émergent d'une mer de 4000^m.

La presqu'île nord-ouest probablement instable de la Nouvelle-Guinée est longée au nord par l'isobathe de 4000^m.

Les Nouvelles-Hébrides et les Archipels de Tonga, Salomon et Samoa, tous relativement instables émergent de fonds de 2000^m.

Les quelques séismes signalés en Australie l'ont précisément été au sud-est dans la partie cotoyée du cap Sandy à la Tasmanie, île où ils ne sont pas très rares, par l'isobathe de 4000^m. Cette courbe vient bien s'approcher de l'Australie occidentale à hauteur du tropique, mais le pays est plat et l'on est sans renseignements sur sa sismicité.

De l'east Cape de l'île du Nord à l'île Stewart les côtes orientales de la Nouvelle Zélande sont bordées par l'isobathe de 2000^m, tandis que les côtes occidentales et le nord, plus stables, émergent d'une mer sans profondeur. Mais le versant occidental, le plus raide, devrait être, d'après la IIIme loi, le plus instable. C'est le contraire qui a lieu par suite du peu de profondeur de la mer qui l'entoure.

Les îles stables et sans grand relief de la Polynésie orientale émergent de mers sans profondeur aux environs.

La relation énoncée entre le relief sous-marin et la répartition des régions côtières instables est donc parfaitement justifiée, et présente un haut caractère de généralité en dépit de quelques exceptions.

IIIme loi. *Le flanc court et raide d'une chaine en est le plus instable.*

Cette loi souffre peu d'exceptions dont les plus importantes s'expliquent comme on l'a vu plus haut pour les Apennins et la Nouvelle-Zélande. Dans ce qui suit les régions dont le nom n'est point accompagné d'un chiffre de sismicité sont celles trop stables pour avoir permis un calcul même approché. La région la plus instable et à laquelle s'applique la loi est énoncée la première, ici par exemple c'est le versant raide qui commence la phrase.

La Norvège (38) est moins stable que la Suède (106); le Perthshire (35) que le canal Calédonien (52) et l'Ecosse du nord-est; les Alpes italiennes de l'ouest (32) que les Alpes françaises (47); l'Alsace (47) que le versant occidental des Vosges (81); les Pyrénées françaises (33) que les Pyrénées espagnoles (53); le versant maritime des montagnes du sud-est de l'Espagne (31, 33 et 38) que le versant intérieur (102); le Jura suisse (26) que le Jura français (86); le Vintschgau (14) et l'Engadine (20) que les Grisons (33); le Marmaros (17) et l'Altland (56) que la Galicie et la Bukowine (190) et les provinces danubiennes occidentales (130); la Dalmatie (30) que la Bosnie (55) et l'Herzégovine (57), le duché de Bade (36) que le Wurtemberg et la Souabe (131); la Ligurie (18) que le versant opposé des Apennins (26); les côtes nord et est de la Sicile (34) et (24) que la côte sud-ouest (44); l'Achaïe (30) que le Péloponèse (66); l'Albanie et l'Epire (66) que la Macédoine (111) et la Thessalie (75); le Turkestan (43). l'Altaï (443) et la Baïkalie (291) que l'intérieur du grand plateau central asiatique; le Shiraz que le versant opposé de ses montagnes; le versant méridional de l'île d'Yeso (50) que l'op-

posé (137); le versant oriental de l'île Kiu-Siu (32) que l'occidental (36); la Nouvelle-Angleterre (90) que la région des grands lacs (170); les Carolines (154) que les bassins de l'Ohio et du Tennessee (170); le Washington (58), le Shasta (51), la Californie centrale (64) et méridionale (43) que l'entremont des montagnes Rocheuses; le Chihuahua (89) que la Sonora (161); le Guatemala occidental (21) que l'intérieur du pays; le Salvador (13) que le Honduras; le Nicaragua (29) que la Mosquitie; le versant maritime du Venezuela (33 et 34) que les Llanos; le flanc occidental des Andes du Venezuela (73) que leur flanc oriental; le versant Pacifique des Andes du Pérou (32, 53 et 138) que le Pérou intérieur et la Bolivie (245); le Chili (38) que le Tucuman (50) et la République Argentine; l'entremont des Cordillères de la Colombie (80), de l'Ecuador (40), du Pérou et de la Bolivie (245) que l'Amazonie; le versant sud-ouest de Sumatra (56) que le versant opposé; la Cordillère des Ilocos (44) que le bassin du Rio-Grande de Luzon (90); le flanc maritime de la Cordillère orientale de Mindanao (32 et 62) que le centre de cette île (114).

IVme loi. *Le flanc court et instable d'une chaîne est surtout ébranlé en ses parties les plus raides.*

Les exceptions deviennent un peu plus nombreuses. On peut citer les exemples suivants. Le Lunröe (16) et le Sondmöre (32) correspondent aux massifs du Svartisen et du Jostedals-Brahe et sont plus instables que la partie intermédiaire des Alpes scandinaves (73); la Ligurie (18) est la partie la plus resserrée et la plus instable de tout le versant occidental des Apennins (28) à l'exception de deux petites régions autour des montagnes volcaniques d'Albano (4) et du golfe de Naples (17), celle-ci

entourée de volcans (Epomeo, Monte Nuovo et Vésuve); la côte de Malaga (31) est plus instable que celle d'Almeria (33) et que celle des provinces de Murcie et de Valence (38); la Dalmatie (30) plus que l'Albanie et l'Epire (66); la Roumélie turque (99) que la Macédoine (111); le Turkestan et le Namangan (43) plus que l'Altaï (443) et la Baïkalie (291); sur le flanc maritime des Andes le Pérou central (32) plus que le Guayaquil (74) et celui-ci plus que le Pérou septentrional (138); le versant californien des montagnes Rocheuses (60) plus que la Colombie britannique; la province d'Oaxaca (61) plus que le Coatzacoalcos (77); le Cachemire (20) plus que le Népaul (104); les hautes terres de Padang (46) plus que le Bengkœlen (59).

Vme loi. *Le versant le plus raide d'une vallée en est le plus instable.*

Exemples : la rive gauche de la Haute Garonne et la droite de l'Adour (26) sont plus instables que les rives opposées (215); la rive gauche du Rhône en aval de Lyon (47) que sa rive droite (188); la rive badoise du Rhin (36) que l'alsacienne (47); la rive droite du Rhin (Nassau, 34) que sa rive gauche (Palatinat et Hardt, 189); la rive droite du bas Tage (55) que sa rive gauche (97); la rive gauche du haut Pô piémontais (26) que sa rive droite (71); la rive gauche de l'Aar inférieure (26) que sa rive droite (32); la rive droite du Pruth (147) que sa rive gauche; la rive droite du Terek (84) que sa rive gauche; la rive gauche du Gange (35) que sa rive droite (115); la rive droite du Tœlang-Bawang (Sumatra, 112) que sa rive gauche (138); la rive gauche du Molyneux (Nouvelle Zélande, 137) que sa rive droite (138).

VIme loi. *L'angle extérieur de la rencontre de deux chaînes est moins stable que l'angle intérieur plus petit que 90°.*

On peut citer : les côtes de Messine (24) et de Catane (4) plus instables que l'angle intérieur de Gangi (41); le Riesengebirge (24), l'Erzgebirge et le Fichtelgebirge (47) plus que l'angle septentrional de la Bohême (78); les Alpes maritimes (15) à l'angle externe de la rencontre des Apennins et des Alpes que les Alpes cottiennes méridionales (26); l'Achaïe (30) et l'Argolide (25) que le Péloponèse intérieur (66) qu'elles enserrent; la Dalmatie (30) et la Bosnie (55) que l'Herzégovine (57); le Luzon central (30) à la convexité du nœud du grand Caraballo que la Nueva Vizcaya (90).

VIIme loi. *Le flanc d'une chaîne principale rencontrée par un contrefort important est plus instable à l'opposé de ce contrefort.*

Exemples : la Catalogne (66) à l'opposé des Corbières est plus instable que le versant français (188) ; l'Albanie (66) sur le flanc des Alpes Dinariques à l'opposé du Balkan que la Serbie (130) et la Macédoine (111); le centre de Luzon (30) à l'opposé de la rencontre de la Cordillère qui va du golfe de Lingayen à celui de Baler avec la chaîne des Ilocos que les deux versants (44) et (90) de cette dernière.

VIIIme loi. *Les massifs sont plus instables sur leurs flancs que dans leur intérieur.*

Exemples : la Carniole (22) et le Murthal (24) sont plus instables que la Carinthie (31), le Pusterthal (26) et le Tyrol (26); les préalpes italiennes (Frioul, Bellune, XIII et VII Comuni, Véronais, 16) que la Carinthie (31), le Pusterthal (26) et le Trentin (51); en France, en Espagne et en Grèce les régions instables sont toutes exté-

rieures à leurs massifs centraux; les régions maritimes occidentales du plateau d'Anatolie (76, 67 et 56) sont plus instables que le plateau lui-même (214); le haut (63) et le bas Araxe (90) plus que les massifs de Van et d'Ourmiah; le Guerrero (27) plus que le Chapalà (34); la Mixteca (61) plus que le plateau central mexicain (71); les Andes péruviennes occidentales de Payta à Iquique (103) plus que l'entremont des Cordillères (245); le plateau central asiatique stable est entouré de régions instables sur presque toute sa périphérie.

Une exception remarquable se montre pour l'entremont des Andes de Quito (40) plus instable que l'extérieur de Guayaquil à Esmeraldas (74); on peut l'attribuer à l'activité de ses gigantesques volcans.

IXme loi. *Les brusques changements de pente sont favorables à l'instabilité.*

On voit en effet les centres d'ébranlement montrer une tendance marquée à s'échelonner à la base des montagnes et le long des bords des plaines, et les régions instables se placer plutôt sur les avant-monts que sur les parties supérieures des chaînes que l'instabilité atteint rarement. Cette loi est très générale et presque toutes les grandes chaînes en fournissent des exemples, mais elle se manifeste surtout par la répartition des centres d'ébranlement. On peut dire qu'*en général la base des montagnes est une ligne de moindre résistance.*

Xme loi. *Les parties moyennes des vallées sont fréquemment plus instables que les parties supérieures et généralement que les inférieures.*

Exemple: la fosse du lac de Genève (11) est plus instable que le bas (21) et le haut Valais (36), et que la vallée française du Rhône (47); la plaine suisse ou vallée

moyenne de l'Aar (32) plus que l'Oberland Bernois (33); le Piémont ou vallée moyenne du Pô (19) plus que sa vallée supérieure (26) et le Milanais (93), et celui-ci plus que le bassin inférieur (102); la vallée de l'Adige à hauteur du lac de Garde (18) plus que le Trentin (51) et que la plaine Padouane à son débouché (102); la vallée du Nil près de Gondokoro plus que l'Egypte et la région de l'Albert-Nyanza; le moyen Mississipi (170) plus que ses bassins supérieur et inférieur; les rives du Saint-Laurent (59) plus que la région des grands lacs (80) et son estuaire (137); la vallée moyenne de la Magdalena (80) plus que la basse Colombie (193).

Cette loi souffre plusieurs exceptions: le Vintschgau (14) plus instable que le Trentin (51); le haut Araxe (63) que le bas (90). Elle se manifeste surtout par la distribution des centres d'ébranlement le long des thalwegs.

XI[me] loi. *Les longues péninsules montagneuses sont instables.*

Cela se voit nettement pour les Calabres, l'Italie, l'Attique, l'Hellespont, l'Istrie, le Kamtschatka, l'Alaska, les presqu'îles de Sanyodo, Yamato, Izu, Awa et Yake Yama au Nippon, de Nagasaki et de Kagosima dans l'île Kiu-Siu, d'Osima et de Nemuro dans celle d'Yeso, la vieille Californie très probablement, la presqu'île de Nicoya au Costarica, celles des Cayes à Haïti, des Camarines à Luzon, de Surigao, du Cap Agustin et de Zamboanga à Mindanao, et du Minahassa à Celebes.

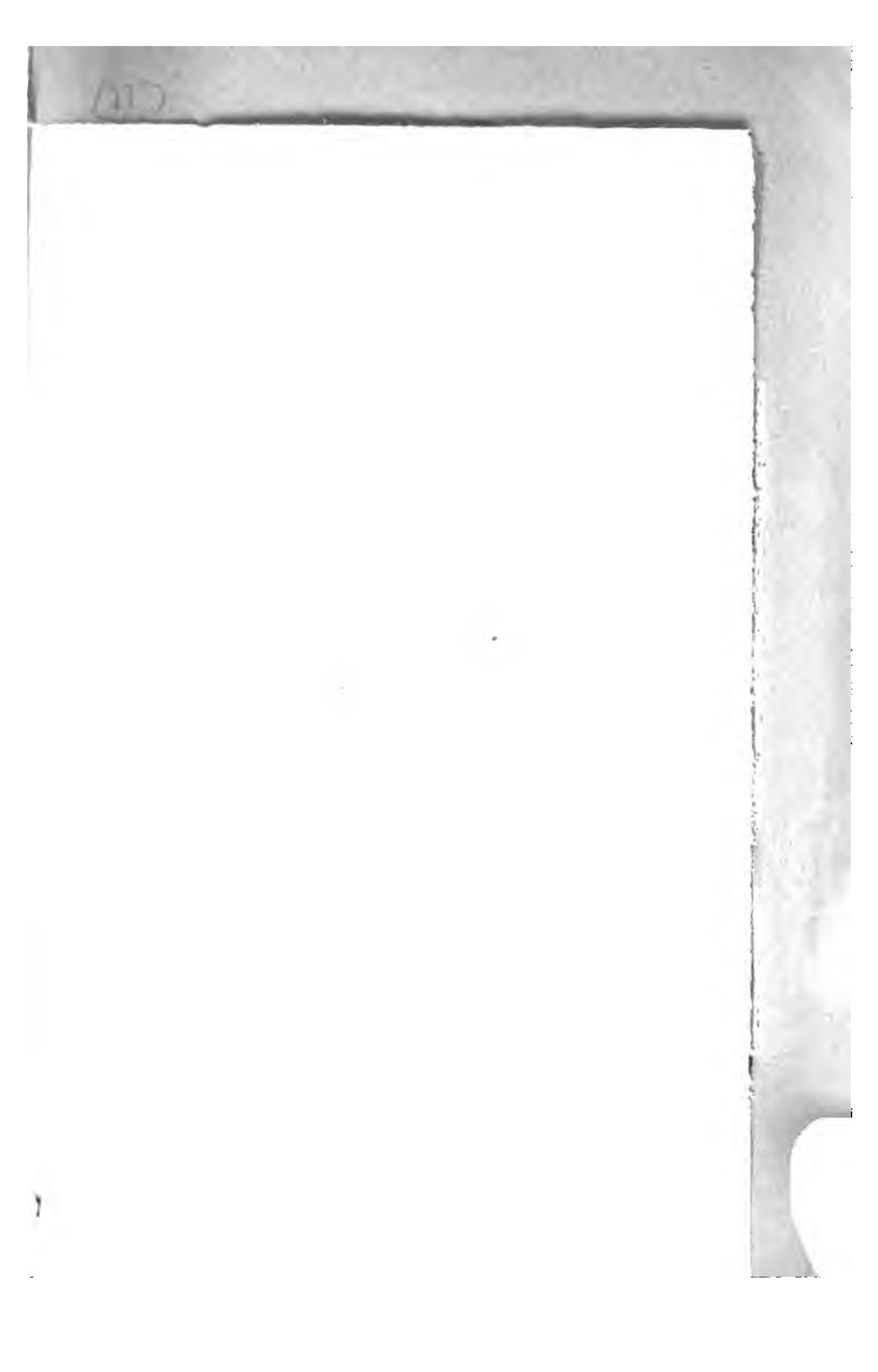
XII[me] loi. *Les isthmes surbaissés*, c'est-à-dire compris dans une dépression des chaînes, *sont instables.*

Exemples: ceux de la basse Ecosse, du Caucase, de Corinthe, de Panama, du Costarica et de Tehuantepec.

XIIIme loi. *Les détroits resserrés sont fréquemment le siège de séismes qui y ont leur épicentre.*

Exemple: Détroits de Gibraltar, de Messine, de l'Euripe, de Tsugaru (entre Nippon et Yeso), de Mindoro (entre cette île et Luzon), de la Sonde, peut-être de Malacca, d'Iloïlo (entre les îles Panay et Negros, Philippines), de Bass, de Cook (entre les îles du nord et du milieu de la Nouvelle Zélande), de Nias (entre cette île et Sumatra).

Belle-Ile-en-Mer, le 19 Juin 1895.



ON S'ABONNE :

GENEVE .... Bureau des *Archives*. / Librairie A. Cherbuliez et Cie.

POUR LE RESTE DE LA SUISSE :

LAUSANNE, Bureau de la *Bibl. Univ.*, chez Georges Bridel
NEUCHATEL, Librairies Sandoz et Berthoud.
BERNE.......... Dalp, libraire.
BALE .... Georg, libraire.
CHAUX-DE-FONDS... Reussner, libraire.
LOCLE .... Graa, libraire.
ZURICH............. Schulthess, libraire. / Orell, Fussli et Ce, libraires.

Et dans tous les bureaux de poste de la Confédération

FRANCE.

PARIS, G. Masson, 120, Boulevard Saint-Germain.

ITALIE.

TURIN .... Bocca, libraire.
GÊNES .... L. Beuf, libraire.
FLORENCE .... Bocca frères, libraires.
MILAN .... Dumolard, libraire.

ALLEMAGNE.

LEIPZIG .... K.-F. Kœhler, libraire.

On peut s'adresser également à BALE, chez Georg, libraire et aux directions des postes de la Confédération germanique

ANGLETERRE.

LONDRES .... Williams et Norgate, libraires.

HOLLANDE.

AMSTERDAM .... Van Bakkenes et Ce, libraires.

RUSSIE.

ST.-PETERSBOURG .. Jaques Issakoff, libraire.

F. DE MONTESSUS DE BALLORE

Relation entre la fréquence des tremblements de terre et leur intensité



IN MODENA
COI TIPI DELLA SOCIETÀ TIPOGRAFICA
ANTICA TIPOGRAFIA SOLIANI

1897.

Estratto dal *Bollettino della Società Sismologica Italiana*
Vol. III, dalla pag. 9 alla pag. 14.

Il serait bien superflu de développer cette thése que la description du globe, au moyen des très nombreux documents que 15 années de recherches assidues m' ont permis de rassembler (plus de 120000 chocs actuellement), est un travail intéressant, et surtout capable de donner ultérieurement d' amples résultats dont les plus immédiatement palpables ont été énoncés: « Relations entre le relief et la sismicité » (Archives des sciences physiques et naturelles de Genève, août 1895).

Les monographies sismiques des diverses parties du monde[1] ont été établies d' après un plan uniforme après avoir défini et mesuré en chiffres la « sismicité » d' une région. Or cette définition et cette mesure reposent sur une hypothèse intuitive, à savoir que pour une région

[1] Les monographies parues sont: France et Algérie — Suisse — Empire Britannique, colonies et Afrique — Péninsule Ibérique, colonies et Océan Atlantique — Europe Centrale — Italie — Péninsule Scandinave et colonies — Mexique — Indes Néerlandaises — Japon.

déterminée s' il faut évidemment tenir compte et du nombre et de l' intensité des secousses qui s' y produisent, ces deux éléments variant dans le même sens, on peut, faute de pouvoir facilement évaluer le second, ne tenir compte que du premier. Cette hypothèse était corroborée, en tant qu' application pratique au calcul de la sismicité, par ce fait que les secousses à grande aire d' action, c' est-à-dire intenses, sont extrêmement peu nombreuses par rapport aux faibles secousses (Voir mon mémoire, l. c., 15 nov. 1889). La difficulté de faire intervenir dans cette recherche l' intensité des séismes vient de ce que pour un choc donné on ne posséde pas de mesure rationnelle. En effet l' échelle Rossi-Forel, toute commode qu' elle soit, ou ses analogues, ne présente rien qui de près ou de loin puisse rattacher l' intensité au travail mécanique total correspondant à un choc. Il est donc nécessaire de justifier l' hypothèse consistant à ne tenir compte que de la fréquence des séismes pour évaluer la sismicité d' une région.

Un travail récent de John Milne et de ses collaborateurs japonais « A catalogue of 8331 earthquakes recorded in Japan between 1885 and 1892 (The sismological journal of Japan, Vol. IV, 1895) » permet de combler cette lacune. Pour chacun de ces séismes on a reproduit sur une carte, puis mesuré l' aire d' action en la limitant à la perception de l' homme. En ce pays chaque village est pourvu de cartes postales spéciales que n' importe qui remplit suivant un questionnaire simple relatif aux principales conditions caractérisant un choc. Ces cartes postales sont adressées sans frais à un office centralisateur de l' université de Tokio. Par cette ingénieuse organisation peu de secousses échappent à l' observation, surtout en un pays comme le Japon où l' attention générale du pubblic est fortement attirée vers ces phénomènes qui y ont produit des désastres d' une intensité incroyable.

Or en une région donnée et à condition d' opérer sur un nombre suffisant d' années d' observation, la somme des aires ébranlées est une mesure rationnelle de l' intensité totale des chocs qui y ont été ressentis.

En effet l' intensité d' un séisme peut évidemment être représentée par le volume de la sphère ou de l' ellipsoïde ébranlé, en s' arrêtant conventionnellement à la perception par les sens de l' homme. Je dis sphère ou ellipsoïde pour tenir compte et de ce que le centre d' ébranlement peut ne pas être un point géométrique, mais bien une certaine étendue de l' espace souterrain où le phénomène a pris naissance, et de ce que le mouvement se propageant dans la masse terrestre éminemment hétérogène, le volume ébranlé ne reste pas forcément sphérique. Et en effet on voit fréquemmet les isoséistes prendre des formes irrégulières s' éloignant beaucoup d' un cercle autour de l' épicentre et se presser, sans le franchir, les unes contre les autres aux abords des chaînes solides qui par leur inertie font obstacle à la propagation du mouvement vibratoire.

Si l' on considère certains points où se sont produites de nombreuses secousses en série en un temps plus ou moins long, on peut admettre que le centre d' ébranlement est constant pour cette série et que la profondeur de ce centre étant aussi constante, quoique le plus souvent mal connue par suite de l' incertitude des méthodes d' évaluation de cette profondeur, on peut admettre, dis-je, que dans ce cas l' aire découpée par la surface terrestre dans le volume ébranlé mesurera bien pour cette série l' intensité relative des différents chocs.

Mais pour une région et une série de chocs sporadiques dans le temps et dans l' espace, la fixité de l' épicentre n' est plus certaine et l' on ne peut dire à priori que l' aire ébranlée soit une mesure même relative de l' intensité des différents séismes. Néanmoins si les séismes

sont assez nombreux la conclusion reste exacte. En effet si pour un choc le volume ébranlé a pour demi axe vertical la longueur a, généralement supérieure à la profondeur de l' épicentre, ce point se trouvera à une profondeur pouvant varier de o à a. On est en droit de supposer d' aprés le calcul des probabilités que pour un nombre suffisant de secousses la surface terrestre partagera les différents rayons a en deux segments dont les rapports prendront toutes les valeurs possibles, et qu' en définitive les choses se passeront comme si toutes les sphères ébranlées étaient coupées à mi-rayon. Dès lors ces sections étant dans un rapport moyen constant avec le volume ébranlé, pourront servir de mesure moyenne non d' un choc en particulier, mais de l' ensemble des chocs ressentis dans la région. Cette conclusion sera d' autant plus approchèe de la vérité que la région comprendra plus de centres d' ébranlement, sera plus instable, et qu' on utilisera une plus longue période d' observation.

L' expérience traditionnelle des pays à tremblements de terre montre bien que là où il tremble souvent, il tremble fort, et réciproquement. C' est au fond ce qui a été admis dans la méthode instituée pour le calcul de la sismicité. Le catalogue de Milne permet de transformer cette opinion en certitude, et c' est là le but de cet article. Ayant divisé le Japon en régions sismiques (Voir la Monographie: « Le Japon sismique; l. c. février et mars 1897) on note que d' une façon générale les aires moyennes d' ébranlement sont d' autant plus grandes pour chacune d' elles que la sismicité de la région considérée est elle-même plus grande. Les quelques exceptions qui se présentent portent sur des régions de faible sismicité pour lesquelles le nombre de chocs est probablement insuffissant.

Noter en passant un détail assez intéressant. Sur 7924 séismes dont on a pu déterminer assez bien l' aire d' action, 2445 avaient leur centre sous la mer. On conçoit que de

ces chocs maritimes seuls ont été observés ceux qui ont suffisamment mordu le littoral. Les plus faibles ont donc échappé à l' observation n' ayant ébranlé que des aires immergées. Or précisément la surface moyenne de ceux-ci est en milles géographiques carrés, de 6678,4, contre 5499,0 pour les secousses terrestres; en moyenne 5886,7.

La croissance ou la décroissance de l' aire moyenne ébranlée avec la fréquence se manifeste nettement aussi pour le cas particulier de la région de l' Owari, où le fameux tremblement du 28 octobre 1891 fut suivi jusque vers la fin de 1893 d' une série décroissante de très nombreuses secousses. On a pu tracer de mois en mois la courbe des aires moyennes et des fréquences, et l' on a obtenu très sensiblement une hyperbole équilatère ayant pour asymptotes l' axe des aires moyennes et une parallèle à l' axe des nombres des séismes à la distance 24.

En résumé l' aire moyenne ébranlée jurqu' à la perception par l' homme dans une région est une représentation légitime de l' intensité moyenne relative des séismes qui s' y produisent normalement, à condition d'.opérer sur un grand nombre d' années d' observation. La méthode de calcul de la sismicité adoptée en ne tenant compte que de la fréquence et non de l' intensité des séismes est donc pleinement justifiée; elle ne repose plus sur une hypothèse, mais sur un fait d' expérience dûment verifié.

On aurait pu s' attendre à voir l' excentricité des aires ébranlées augmenter avec ces aires mêmes, par ce que cette excentricité paraissant résulter de l' hétérogénéité des couches traversées et de la rencontre des massifs solides qui s' opposent à la propagation, la forme circulaire aurait d' autant plus de chance d' être altérée que l' aire ébranlée est plus grande. La statistique ne justifie pas cette prévision. Il n' y a pas de relation évidente entre la surface (ou l' intensité) et l' excentricité. On peut retenir ce ré-

sultat que l' excentricité moyenne des 7924 secousses japonaises étudiées est de 0,2976, ce qui correspond au rapport moyen 0,9558 du plus petit au plus grand des axes de l' aire ébranlée.

Nantes, le 18 Juin 1897.

